物理大辭典

十五畫～二八畫

人文出版社印行

物理大辭典

十五畫～二八畫

人文出版社印行



中華民國七十四年五月再版

物理大辭典

主　　編：段木干
編　　輯：本社編委會
出 版 者：人文出版社有限公司
社　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
郵　　撥：〇〇二八〇〇〇一七號
登記證字號：局版台業字一三三二號
發 行 人：段鏡
住　　址：台中市忠明路二十巷十一號
電　　話：二五一八八八八號
印 刷 廠：三興彩色印刷廠
地　　址：台中市健行路八五六號
電　　話：三一八五六二號

編 輯 大 意

一、二十世紀物理學的驚人發展，已改變了全體人類的生活。因此，我們博採舉凡有關物理的一切名詞、概念和現象，言簡意賅的加以說明，彙成本辭典，提供給學術界和社會人士，作爲參攷查閱之用。

二、全書共六千餘頁，約八百萬字，二十四開大本，精裝九册。內容豐富，編校審愼，是我國目前唯一一部取材最龐大、收錄最完全的物理大辭典。

三、本辭典係依每一名詞起首文字之中文筆畫多少，定爲先後順序，幷採用科學方法編排，檢校查攷，極爲便利。書前列有物理學概論，簡介物理學的發展小史及其主要內容，期使讀者能獲得基本而有系統的物理常識。書後列有附錄多種，諸如實驗法則與實驗方法、物理標準和物理常數、力和運動、熱學、聲學、光學、電磁學以及高能物理、量子物理、太空科學等等，重要資料，應有盡有。

四、本書名詞，採用民國六十年國立編譯館新編訂之物理學名詞爲主。書後編有英文索引一册，可以中英對照，互相查攷。

五、科學的專門名詞，日日見增，而一部精良的工具書，實可使學術研究工作，收到事半功倍之效。是以本辭典係應當前社會之需；惟因付梓匆促，誤漏在所難免，尙祈學者不吝教正。

編　者

六十三年春

物理大辭典

總 目 次

物理大辭典

第七册目次

物理大辭典

十五畫

十　六　畫

十七畫

十 八 畫

十 九 畫

二 十 畫

二十一畫

二十二畫

二十三畫

二十四畫

二十五畫

二十七畫

二十八畫

其　他

十 五 畫

【儀器導降系統】(Instrument landing system ; I.L.S.)

儀器導降系統在地面控制著陸雷達之先，就已存在，並且現在仍被大多數機場所應用，儀器導降系統也稱爲盲目降落系統（*blind-landing system*） 在此降落系統中，一些地面控制著陸雷達設備，都由飛機上的無線電接收及指示設備所代替。圖 15 — 1 爲一由高度方向性的數個地面無線電發射機（非雷達）發射出電波所形成的完整降落場型。

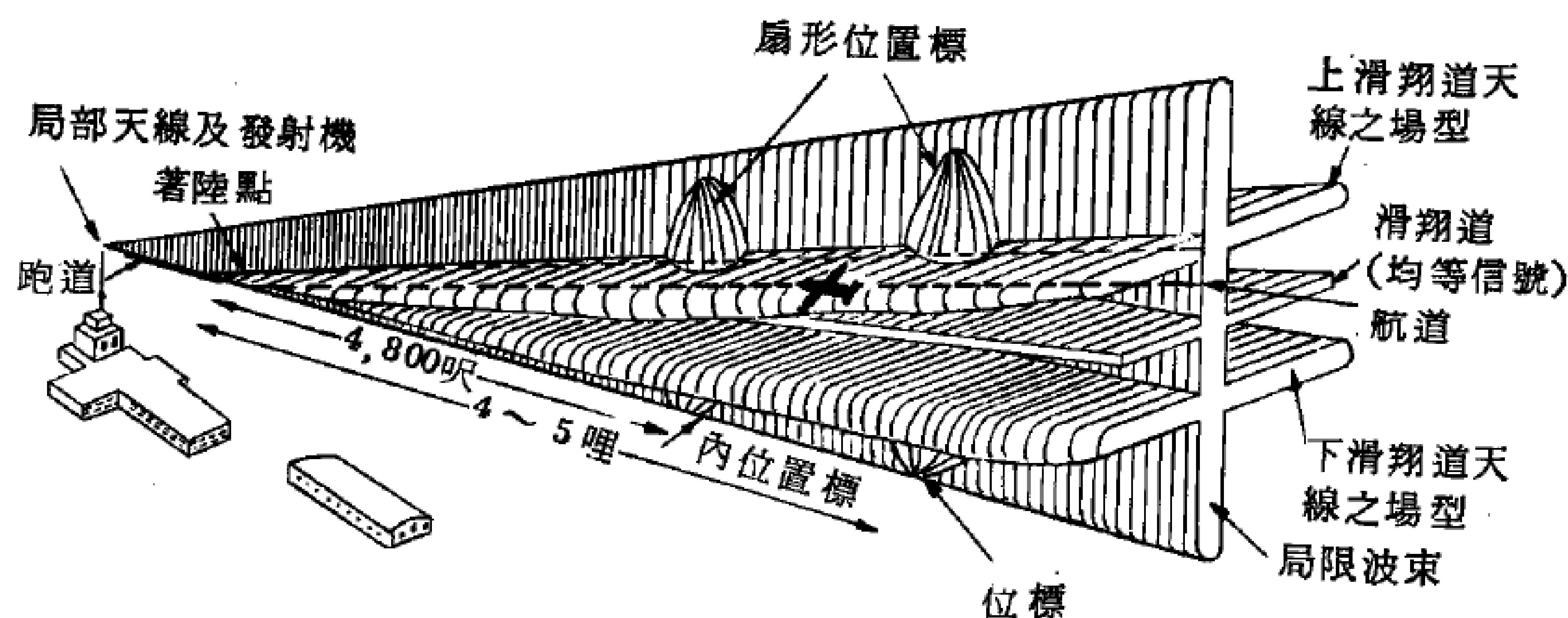


圖 15 — 1 儀器導降系統的著陸場型

圖 15 — 1 儀器導降系統的著陸場型，是由垂直局限波束與水平空間滑翔電波束相交，而成一個連接跑道的空間斜波滑翔道。垂直局限電波束與水平空間滑翔電波束，都各由其發射機所產生。另外有低功率指標發射機，產生扇形垂直無線電波位置標，此位置標可指示飛機距跑道的距離位置。

局限發射機設在跑道飛機著陸點的另一端，當飛機向跑道降落時，可提供給飛行員一個水平指引，使其能以所需的航向著陸。發射機作用頻率約爲 100兆赫，同時送出兩個被 150赫及 90 赫所調幅的場型。此兩信號場型沿跑道的縱深相互重疊。 150赫的信號區域在飛機降落方向

的左方，通稱爲藍區，而90赫的區域則在右方，通稱爲黃區。局限發射機的發射範圍，視飛機的高度而定，但約在40～80哩之間。立體局限場型的水平截面圖，已示於圖15—2中。

在飛機上，儀器導降系統中有一個使飛行員沿空間滑翔道及局限電波束下降的著陸指示器（*approach indicator*）。如圖15—2所示，著陸指示器具有兩個相交的指針，一爲水平方向；而另一爲垂直的。水平指示針指示出飛機，是在空間滑翔道之上方或下方，而垂直指針，則指示飛機是在下降航道局限電波束的左方或右方。

飛機上的局限接收機，將90赫及150赫兩調幅局限信號經濾波器分開，然後將兩者加在零中點局限指針的兩端。如果飛機偏離下降航道，而在局限場型之藍區，因此150赫的調幅信號較強，局限指針則指向著陸指示器的藍色扇形面內。如果飛機在黃區上空飛，因此90赫調幅信號較強，指針就指向黃色扇形面。最後，飛機正好飛在黃色與藍色電波場型相重疊區域下降航道上，兩調幅信號的強度相等，垂直局限指針就不會偏移（指針指向黃色與藍色扇形面的中央）。任何飛行員當然都沿此信號航道下降。

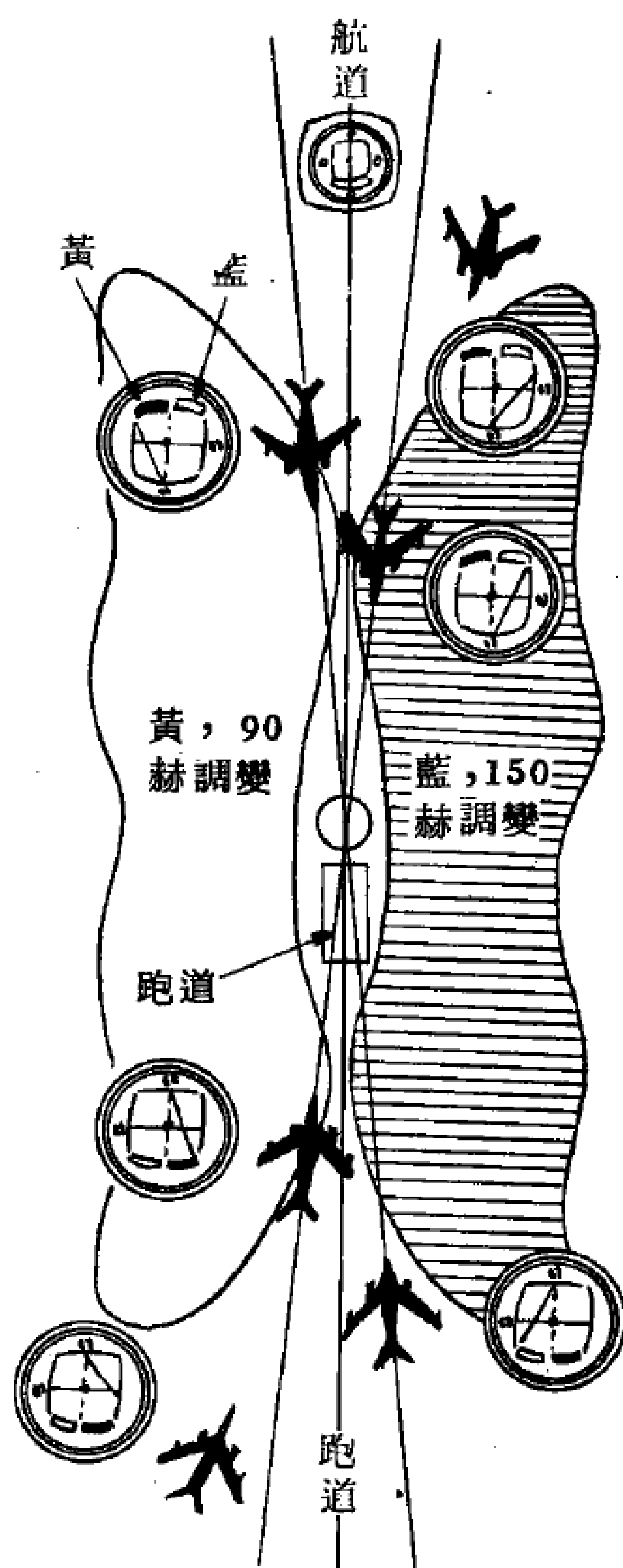


圖15—2　局限場型及指示

空間滑翔道發射機設於距跑道降落端750呎之處，發射出上與下兩空間滑

翔道電波束，並且兩電波也是各自被150赫及90赫的頻率所調幅。此電波束的寬度約爲0.8度，與跑道間的角度爲2.5到6度之間。空間滑翔道的位置完全取決於圖15—1所示兩信號電波束強度相等區域之所在。滑翔道信號的頻率約爲333兆赫。

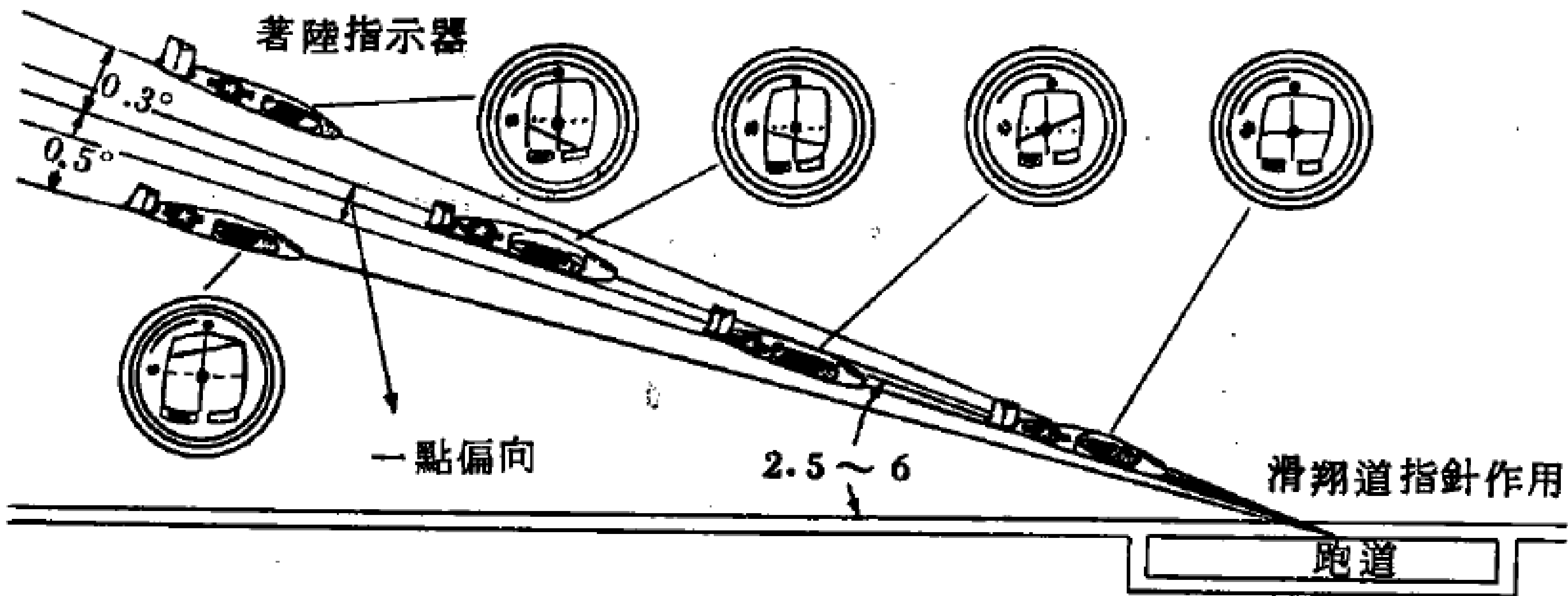


圖15—3　滑翔道指示器的作用

圖15—3爲儀器導降系統中著陸指示器水平指針的作用。滑翔道接收機，將滑翔道信號150赫及90赫兩電波先予以解調，然後再將此兩信號加在零中點滑翔道指針的兩端。飛機如飛在滑翔道的上方，150赫的信號較強，指示器的滑翔指針，則向下偏移，這表示飛行員必須使飛機向下飛。當飛機飛在滑翔道的下方，90赫信號較強，滑翔指針則向上偏移。顯然地，指針所指的方向，就是飛機接近滑翔道的方向。當飛機正在滑翔道上飛時，兩調幅信號的強度相等，滑翔指針指示水平方向。因此在下降時，飛行員永遠希望飛機能使著陸指示器兩指針在中心點正交的情況下著陸。

除了局限及滑翔發射機，通常另外尚有兩個到三個特高頻率的位置標發射機，其作用頻率爲75兆赫，發射出垂直扇形位置標，以指示飛機距跑道的距離。如圖15—4所示，外位置標通常約在距跑道4.5～5哩的位置，而內位置標則約在距跑道0.7～1哩的位置。有時另有一

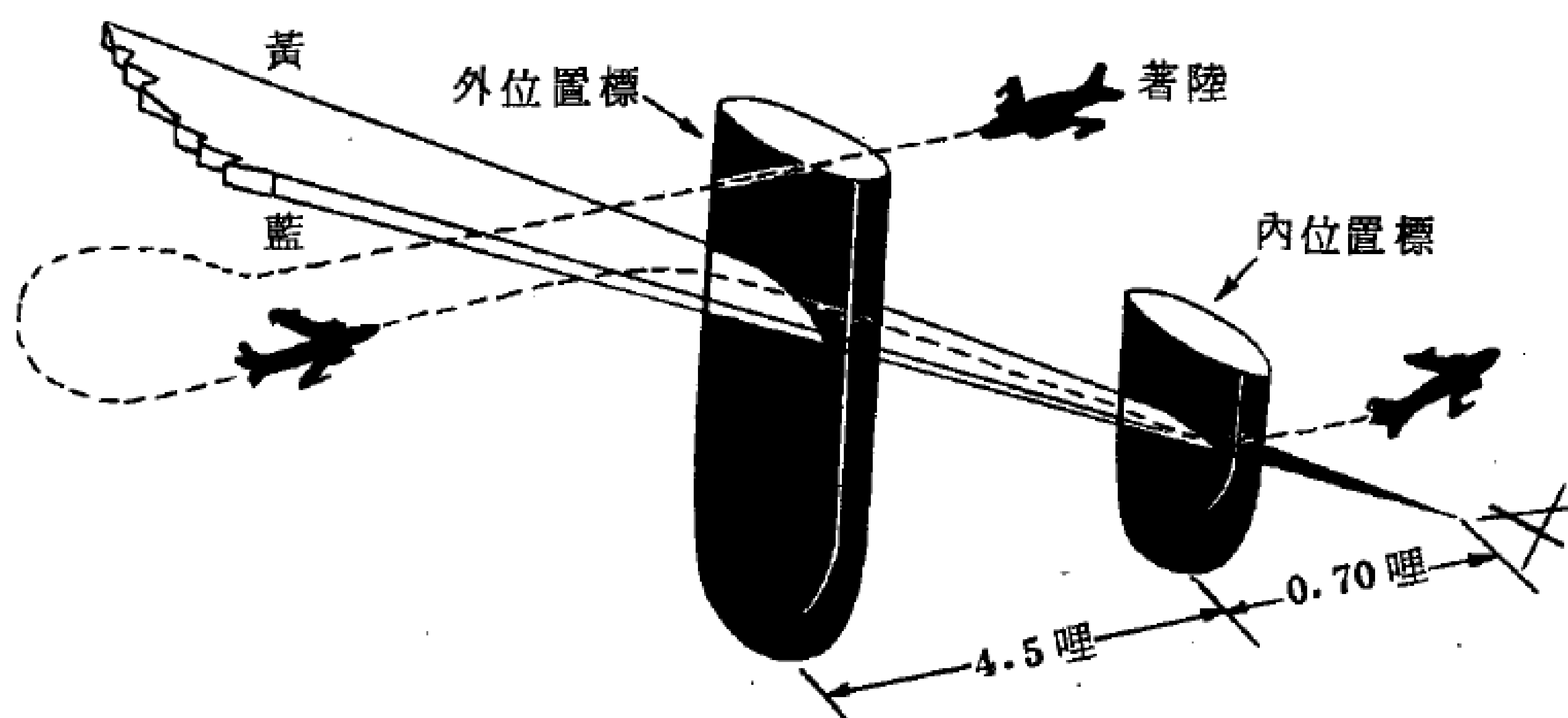


圖 15 — 4　滑翔道的外與內位置標

跑道著陸端 250呎的邊界標，以作標定邊界之用。每一位置標發射機，都送出不同的電碼信號，飛機上的位置標雷達，接收到此不同電碼的位置標信號後，就會知道其位置。同時當飛機通過不同的位置標時，在飛機的儀器板上有不同顏色的閃光發出，使飛行員可用肉眼辨別出。

儀器導降系統，可導引飛機下降，但爲達穩定著陸的目的，在觸地前數秒鐘，飛行員都靠其視覺以操縱飛機，而不依賴導降系統。通常在極暗的天氣下，也可看見數百呎的跑道，所以飛行員可在觸地前親自操縱。儀器導降系統的最大缺點，是在飛機上需備有特殊的設備。

【價】(Valence)

又稱價電子(*valence electrons*)。爲在原子外層未成對的電子數目，係表示一元素與他元素結合能力的量度，亦即可決定原子的化學性質；參與化學反應及化學結合的都是這些價電子。此外在研究半導體的性質時，其價帶上的電子也叫做價電子。

在元素週期表中，屬第 I 族元素的價數均爲一，遞增至第 IV族爲四，然後遞減至第VII族又爲一，而第VIII族爲零。但也有例外者，如磷可爲三價及五價而成 PCl_3 及 PCl_5的化合物。過渡元素的外層電子，不能確定那些當視爲價電子，故難以決定其價數。

【價帶】(Valence band)

即價能帶。當將物質的原子間距離縮短，而使其形成晶體時，各原子的能階因電子交互作用而延伸重疊，以致構成能帶。圍繞原子核的內層電子多爲原子核緊緊束縛，與其他原子沒有什麼交互作用可言，故與自由原子的狀態無異。但各原子最外層的價電子(*valence electrons*)，交互作用極強，其所形成的能帶對物質的固態性質極有關係。在基態時，這些外層電子所形成的較低能帶即稱爲價帶。

【價鍵晶體】(Valence crystal)

這種結晶的鄰近原子，常靠著共享彼此之價電子，而形成很強的共價鍵(*covalent bond*)，牢牢地結合，因此晶體通常不易斷裂，而且堅硬不易傳導熱及電。

【劈】(Wedge)

劈爲雙斜面之剛體，利用垂直於斜面的力量 以壓入裂縫或物間。將劈視爲全等斜面(圖 15 — 5)，以作用力 P 擊入另一物體時，作用力 P 遂分解成垂直於 AB 及 AC 二相等分力 Q_1 和 Q_2。從整個劈三角形 ABC 和繪有影線的半個力平行四邊形(具有相等頂角 α 之等腰三角形)之相似關係中，得到 $P：Q_1 = BC：AB$。當劈側邊 AB 大於劈脊邊 BC 時，施予劈側面的壓力 Q_1 大於施予劈脊的 P 力；換句話說，作用力 P 可藉劈之助轉變成較大之 Q_1 (或 Q_2) 力。

當劈脊和劈側面長度之比值愈小時，也就是劈角愈小時，則劈之功效愈爲有利。如斧、刀、釘、針等，和劈之作用相似。

設劈在作用力 P 發生作用的時候，由 ABC 之位置移至 $A'B'C'$ 之位置，亦即移動 $S_1 = AA'$ 時，作用力之功等於 $P \times S_1$。此外，所發

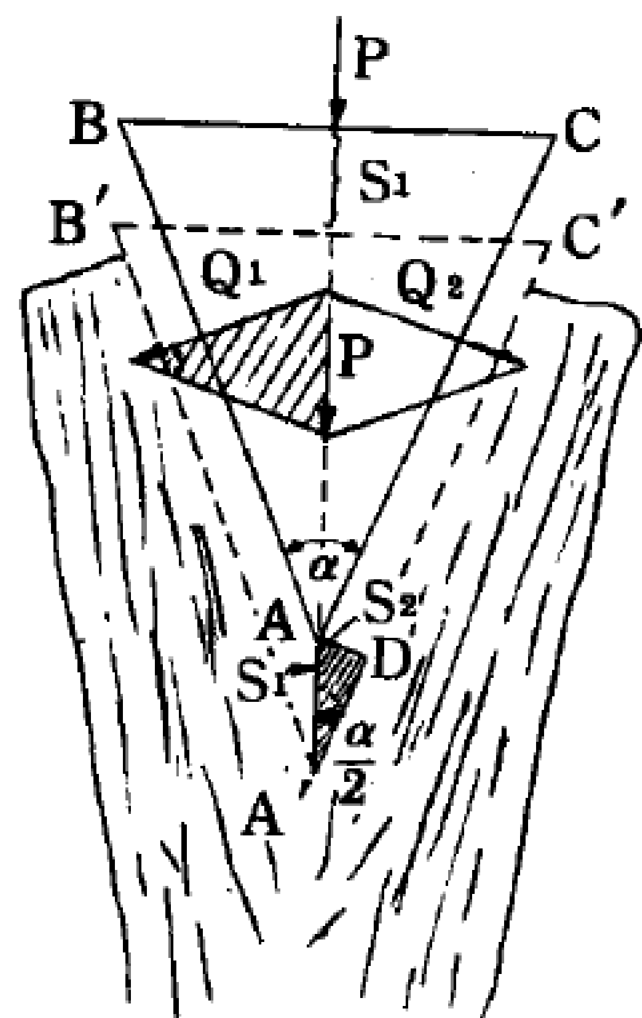


圖 15 — 5
用作變力器之劈

生之反壓力，譬如是劈開木材之反壓力，則係由Q_2沿著行程 $S_2 = AD$ 來克服的。又S_2 這一行程必定是在力之方向上，亦即平行於Q_2。因此，力在兩側所作之功遂等於 $2Q \times S_2$（因$Q_1 = Q_2 = Q$）。小影線三角形$AA'D$與半個劈三角形相似，故

$$S_2(AD) : S_1(AA') = \frac{BC}{2} : AB \text{ 或 } 2S_2 : S_1 = BC : AB$$

又因　$P : Q = BC : AB$

所以得到　$P : Q = 2S_2 : S_1$　或　$P \times S_1 = 2Q \times S_2$

故擊入劈時所費之功等於因此而分裂時所作之功。

【劈狀光度計】(Wedge photometer)

光度計之一種。

【劉維定理】(Liouville theorem)

原則上一熱力體系的性質，可由其所含之N個質點的運動方程式求出。其運動狀態由相空間（ *phase space* ）的坐標，即動量 p_i及坐標 q_i，$i = 1, 2, \cdots, 3N$，上一點（ $p_1, \cdots p_{3N}, q_1, \cdots q_{3N}$ ）代表之，此坐標點對時間的移動即代表此質點組的運動狀況。在統計熱力學（ *statistical thermodynamics* ）上，對屬於此熱力系統的系集（ *ensemble* ）而言，系集中之熱力系統在坐標點（ $p_1, \cdots p_{3N}, q_1, \cdots\cdots q_{3N}$ ）附近$dp_1 \cdots dp_{3N}\, dq_1 \cdots dq_{3N}$ 體積內的密度以分佈函數ρ（ $p_1, \cdots p_{3N}, q_1, \cdots q_{3N}, t$ ）描述之。ρ的運動方程式即由劉維定理求之如下：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{i=1}^{3N} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p_i} \dot{p}_i + \frac{\partial \rho}{\partial q_i} \dot{q}_i \right) = 0$$

式中 $\dot{p}$ 及 $\dot{q}$ 爲 p 及 q 的時間導式，並滿足下列運動方程式：

$$\dot{p}_i = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \qquad \dot{q}_i = \frac{\partial H}{\partial p_i}$$

式中$H(p_1, \cdots, p_{3N}, q_1, \cdots, q_{3N}, t)$爲質點組的漢彌頓函數。當假設$\rho$僅是$H$及$t$的函數，則劉維定理變成

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

即系集密度分佈不隨時間而改變。故在熱平衡時，ρ僅爲H的函數。由此結論而得統計力學（*Statistical mechanics*）上的各種系集分佈，如吉布士（*Gibbs*）分佈或正則（*canonical*）分佈，ρ爲$exp(-\beta H)$的形式。

【噚】（Fathom）

爲海程單位，1噚＝6呎＝2碼。

【增尼斯型汽化器】（Zenith type carburetor）

圖15—6所示係增尼斯30 *VM*—7型汽化器，此爲典型之增尼斯汽化器。

在早期增尼斯型汽化器上，起動裝置採用半自動式阻風門，並在阻風門上設有自動活門，使在初次點火時利用吸力將自動活門吸開以防止

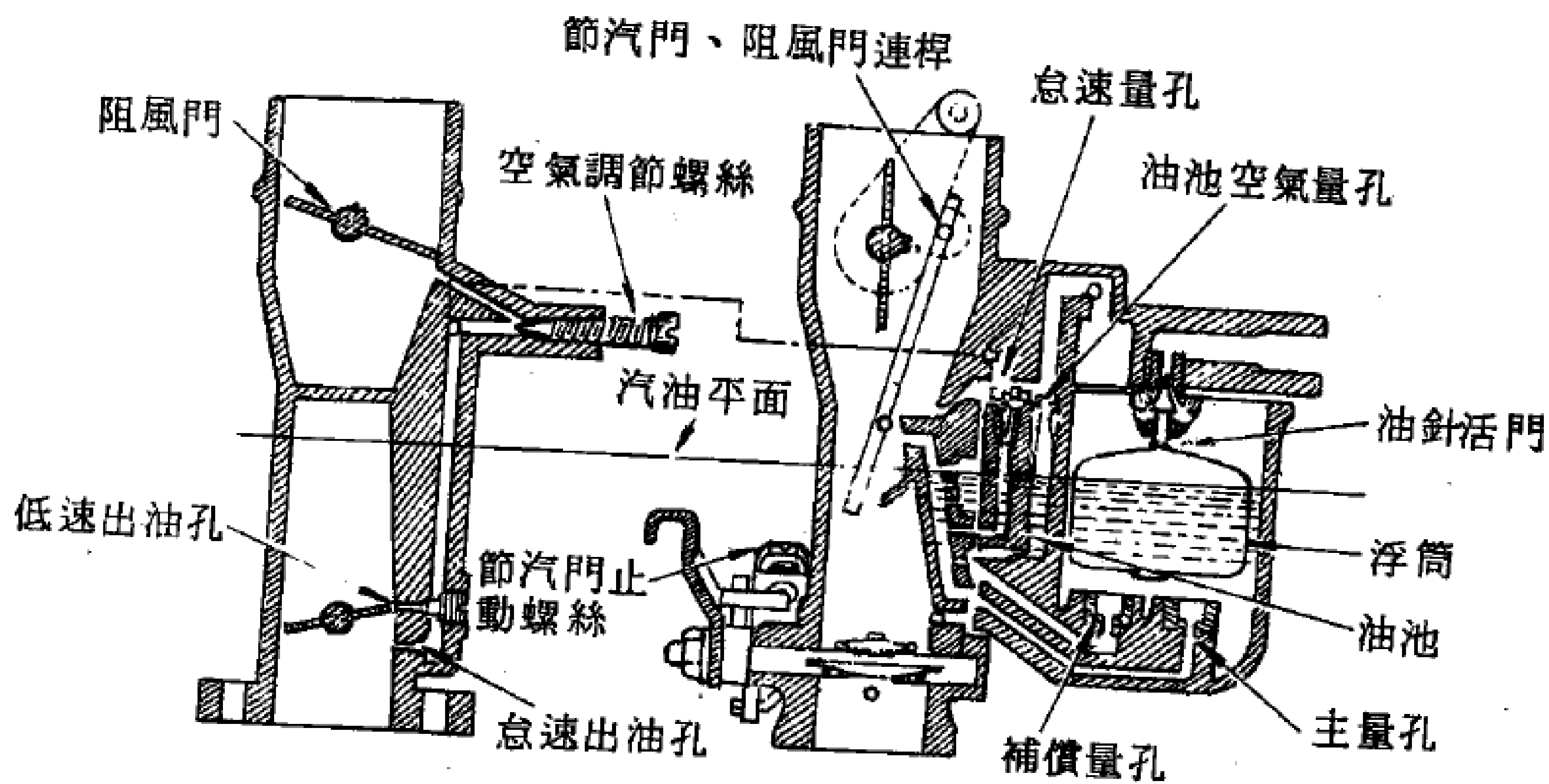


圖15—6　增尼斯30 VM—7型汽化器

混合汽過濃。現在增尼斯汽化器在阻風門之設計上有了一些改變，如圖

15—6 所示， 阻風門偏心地裝在軸上。轉軸經由輕力彈簧與拉桿連接。當駕駛將拉鈕拉出時，阻風門就靠彈簧之彈力而關閉。引擎初次點火時，由於進氣管內眞空度之增加，克服彈簧之張力使阻風門啓開，使混合汽不致過濃。引擎起動後之一段加溫期間內，阻風門應逐漸啓開。

爲了易於起動，在阻風門與節汽門之間通過槓桿之作用，使阻風門關閉時同時將節汽門微開一些，如是引擎可在比怠速稍高一些之轉速下作起動運轉。有些增尼斯汽化器採用全自動阻風，阻風門係以節溫彈簧與眞空柱塞所自動控制。

圖 15—6 左方所示爲怠速裝置之調節方法。圖中之空氣調整螺絲係用以調整流入怠速通路中之空氣量。螺絲旋進時，通路中之眞空度便增大而使混合汽變濃。螺絲旋出時，混合汽即變稀。

除了調整怠速混合汽成分之螺絲外，在節汽門轉軸支柱上，還裝有止動螺絲來調整節汽門在怠速時之最小開度，使節汽門不致完全關閉。

從怠速進入小負荷時，節汽門微開使流入導管之空氣量增加。這時由於上下兩個怠速孔都在節汽門之下面，因此供油量也相應地增加。當負荷增大或節汽門開度增大時，怠速孔之眞空度便減少，因此怠速裝置之供油量也跟著減少，同時喉管內之眞空度卻逐漸增大，主要噴油裝置即逐漸加入工作。

【增益】(Gain)

放大級輸出之電壓、電流或電力與輸入者之比值，稱爲該級的增益。

【增強線】(Enhanced line)

又名電花譜線。由火花或其他非常高溫之光源形成之譜線，譜線強度非常高，故名增強線。其成因一如極充沛之氣體原子或氣態物體當其本身處於游離狀態時必然增加其溫度，故光譜上之增強線乃隨之出現。

【增殖因數】(Multiplication factor)

在中子誘發原子核分裂反應中，爲產生鏈式反應並使其持續不輟，

每次核分裂所產生的中子，必須至少有一個再誘發一個核分裂，即核分裂反應前後中子數之比必須大於一，此比值稱爲增殖因數，以符號 k 表之。$k \geq 1$ 表示可持續鏈式反應。

在反應器中，因單位溫度之改變而影響增殖因數改變之量，稱爲增殖因數的溫度係數（*temperature coefficient of multiplication*）。在功率反應器（*power reactor*）中，爲求安全計，恆將此溫度係數設計爲負值，即當反應器溫度上升至一定限度時，自然有一增殖因數下降的作用隨之產生。當增殖因數之值爲 1 時，即達到所謂臨界狀態。

【增幅器】（**Amplifier**）

增大微弱電流的一種機件，又稱放大器。

詳閱“放大器（*Amplifier*）”條。

【寬度】（**Broadness**）

對信號而言，指頻率散開範圍頗爲寬濶。

【寬頻帶放大器】（**Wide-band amplifier**）

一個放大器若有從數赫到數兆赫的頻率響應，便可稱爲寬頻帶放大器。某些聲頻放大器的作用頻率，可超過聲頻範圍，這種寬頻率響應的特性，在寬頻帶放大器是非常重要的。

最初，只是將寬頻帶放大器用在放大電視系統的圖像信號方面，所以當初稱寬頻帶放大器爲視頻放大器（*video amplifier*），視頻放大器必須有一個非常平的頻率響應（圖 15—7），頻率範圍是由 60 赫到 4 兆赫。然而

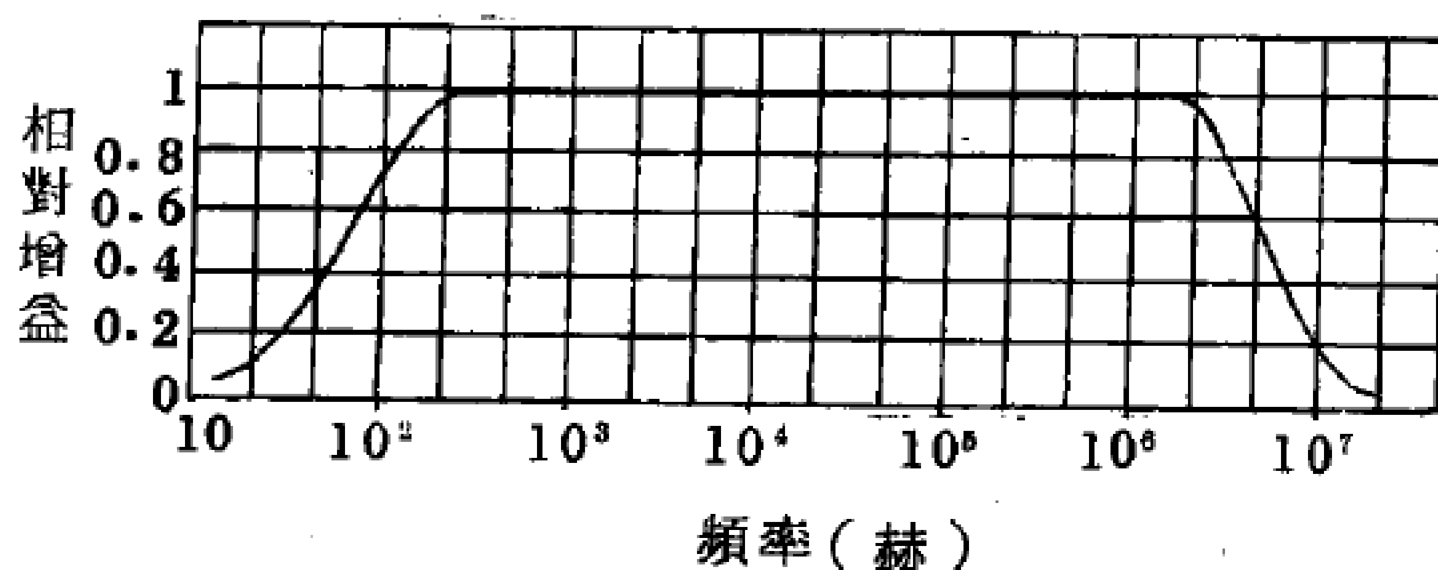


圖 15 — 7
視頻放大器的頻率響應

，現在視頻放大器不只是用在電視系統方面，同時也應用在其他如雷達系統及脈衝器材方面。

【層析法】(Chromatography)

層析法爲分離混合物之物理方法，由於物質在兩相間之分配係數不同而分離。兩相中一爲表面積甚大之穩態層（*stationary phase*），一爲流動相滲過穩態層或沿著穩態層流動。氣體－液體層析法(*gas-liquid chromatography*)爲層析法中最新者，其穩態液相乃包在固體支持物表層薄膜。氣體－固體層析法(*gas-solid chromatography*)，以固體吸收劑爲穩態相。氣層析學爲兩者之通稱。

層析法之裝置，其基本部分：(1)一筒壓縮氣體：氮（N_2）、氦（*He*）或氬（*Ar*）。(2)氣體流速調節器（*flow controller*）。(3)注射部（*injection part*）。(4)層柱（*column*）。(5)檢驗器(*detector*)：附設電子部分。(6)記錄器（*recorder*）。(7)注射部、層柱及檢驗器各備恆溫槽（*thermostat*），互相獨立。

欲檢試樣由注射口注入層柱上端（與注射口連接端），由攜載氣體（*carrier gas*）帶入層柱，由層柱下端進入檢驗器。層柱乃由不揮發性溶劑塗在惰性固體支持物所作成之穩態相填裝而成。此種不揮發性溶劑對物質之移動阻礙性依據其分配係數而有差異，致物質在層柱中進行速度受其影響，試樣在氣相中終而形成分離帶，走在層柱前面者，先入檢驗器，再依先後行進秩序，以時間之函數被記於記錄圖上。

層析技術之優點是：(1)層柱因連續性之攜載氣體通過，得以繼續使用，有“再生”之能力。(2)一般情形下，樣品多完全分離，且僅與惰性氣體混合，故便於收集及定量分析。(3)整個分析過程需時甚短。不過層析技術亦有其缺點，如某些物質與穩態相之溶劑間產生極強之吸附力，致該物質在層柱中移動遲緩，甚而不動。在此情形下，依序增溫（*temperature programming*）可克服此缺點。

以一札圖紙將記錄器上之層析結果記錄之，謂層析圖（*chromatogram*），通常以時間爲橫坐標對縱坐標之毫伏特（*millivolts*）作圖，如圖 15—8。

層析法常用在下述三方面：

1. 分析用——任何物質其蒸汽壓爲 1 至 1,000 毫米（*mm*），而在 $-70° \sim 400° C$ 溫度範圍內可操作者，皆可分析。固體物質可溶於適當溶劑者或壓碎式（*cracking patterns*）下亦可分析。

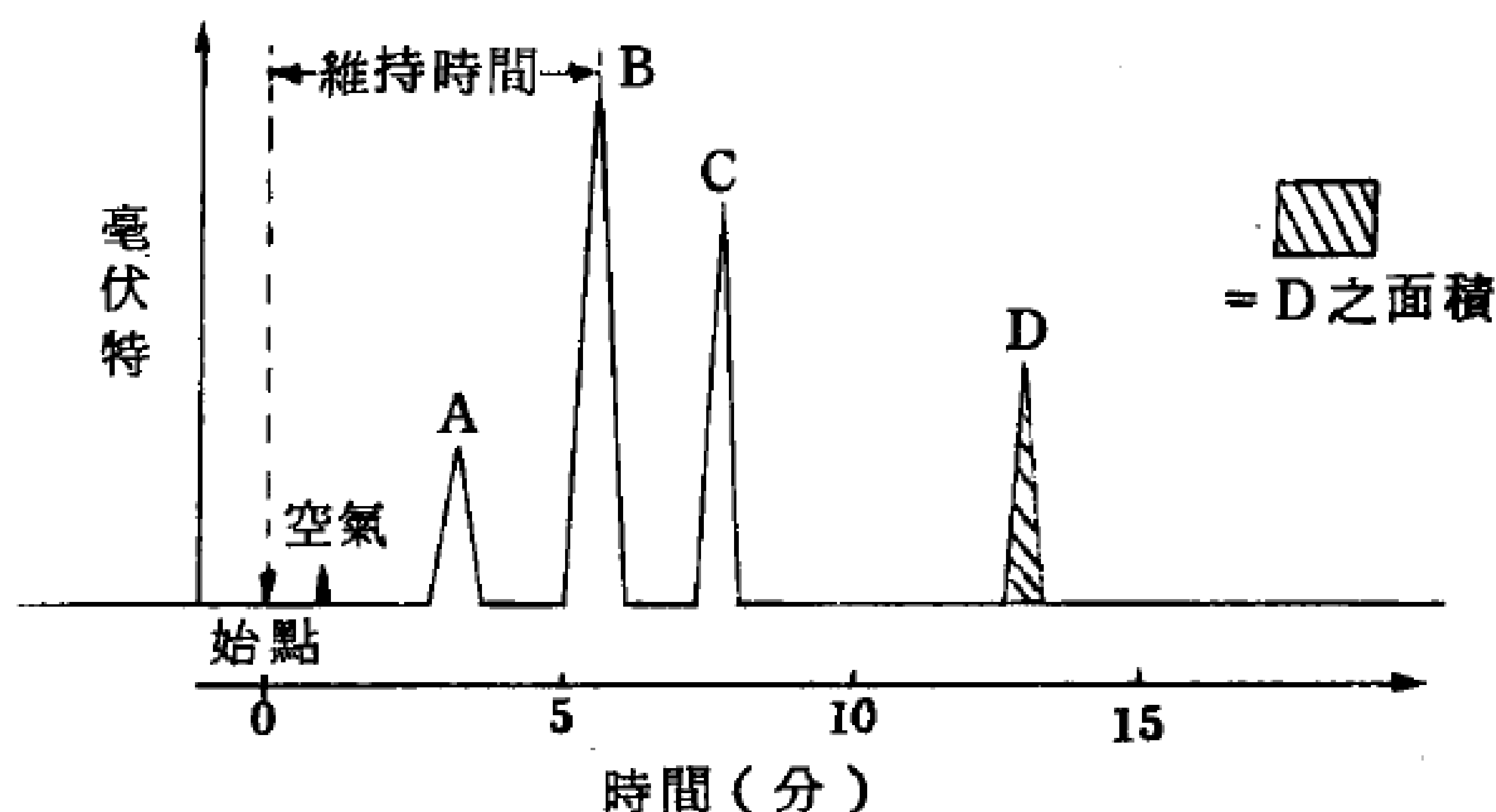


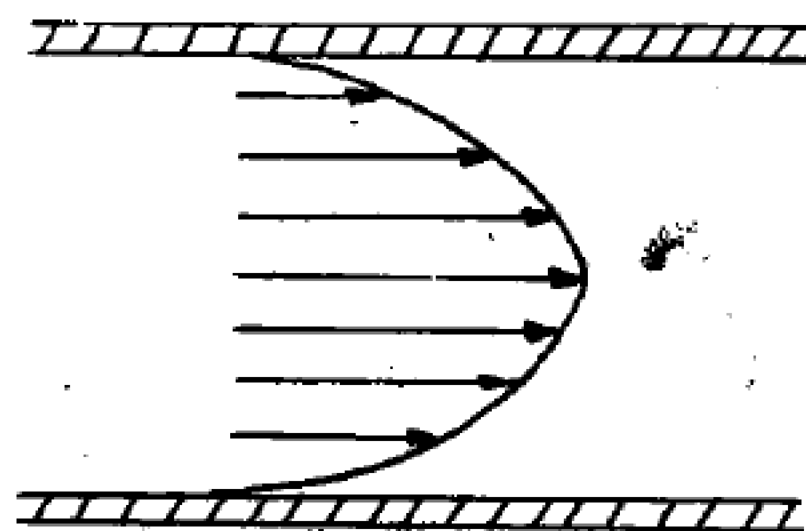
圖 15—8 層析圖之代表

2. 物理性質之推定——如表面積（*surface area*）、吸附等溫線（*adsorption isotherm*）、溶解熱（*heat of solution*）、活性係數（*activity coefficient*）、分配係數（*partition coefficient*）及蒸汽壓（*vapour pressure*）等皆可測定。

3. 人工及自動操作之製備用層析儀，亦可用以純化物質。

【層流】（Laminar flow）

當流體具有黏滯性，而速度不太大時，流體質點將成爲有秩序之分層流動狀態。若流體是在圓管內，則任一點之瞬間速度必沿管之軸向，且速度在軸心處爲極大，而至管壁逐漸減低爲零，如圖 15—9 所示。便叫層流。


圖 15—9

【廣義坐標】（Generalized coordinates）

假設粒子不再是理想的質點，而是具有N個自由度的粒子，這也就是說，需要N個獨立變數才能描述粒子在空間的位置，這些變數稱爲廣義坐標。例如，含有兩個原子的分子（假使兩個原子間沒有振動）需要五個獨立變數才可完全的寫下它在空間的位置，所以此種雙原子的分子有五個自由度。在古典力學裏，要完全的描述分子的狀態，除了廣義坐標外還需要有所謂的廣義動量（*generalized momentum*），每一個廣義坐標相對應著有一廣義動量，例如，若廣義坐標爲角度θ，則相對應的廣義動量爲角動量（*angular momentum*）$I\dot{\theta}$。因此，若粒子的自由度爲N，則需要$2N$個變數才能描寫它的狀態；設N個廣義坐標爲$q_1 \cdots\cdots q_N$，廣義動量爲p_1，$p_2 \cdots\cdots p_N$，則其能量爲

$$E = E(q_1, \cdots\cdots q_N, p_1, \cdots\cdots p_N)$$

【廣義動量】（Generalized momentum）

參閱“廣義坐標（*Generalized coordinates*）”條。

【廣義相對論】（General theory of relativity）

廣義相對論是由狹義相對論（*restriced theory of relativity*）推廣而來。狹義相對論討論內容僅包括物體間的等速相對運動系統〔包括動力學（*Dynamics*）和電磁學（*Electromagnetics*）現象〕。廣義相對論則推廣到物體間加速系統的現象，更包括重力場（*gravitational field*）。狹義相對論的相對原理是說在慣性坐標系中所有物理定律均相同。廣義相對論除此以外，更加上等效原理（*equivalence principle*），將加速系統和場二者視爲等效。因此，將包括加速系統的時間幾何結構，和重力場視爲一體，成爲幾何的結果，這就是物理現象所依據的。

廣義相對論的時間幾何既與場論有關，其理論自可以從幾何構造著手，所用的工具就是非歐氏瑞曼（*Riemann*）幾何。因此，行星的運轉和光線的彎曲就是由於彎曲空間的最短曲線，即重力場內的軌道就是

空間的最短曲線；紅外線隨重力場的移動，是由於彎曲空間的度規構造使然。所以，在此重力場的幾何化過程中，可以得到很多理論上的預測，而實驗上的證明，使廣義相對論有很高的評價。

當然，廣義相對論所討論的不只限於重力場，尚包括一般的物質場。設 T_{ij} 爲應力能張量（*stress energy tensor*），則廣義相對論的場方程式爲

$$R_{ij} - \frac{1}{2} g_{ij} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ij}$$

式中 R_{ij} 爲雷其張量（*Regge tensor*），G 爲重力常數。所以此場論包括所有的物質場。雖然廣義相對論包括所有物質場，可是在場的幾何化當中，只有重力場能夠完全解決，電磁場則不能完全幾何化，因此以後的發展就有統一場論的出現。

廣義相對論提供新的因果律，對於物理的發展有很大的影響。

【廣義相對論的拉格朗理論】（Lagrangian theory of general relativity）

在解析力學中，拉格朗理論有統一的形式，首先定義拉格朗函數爲

$$L = T - V$$

式中 T 爲動能，V 爲位能。由最小作用原理，可以求得尤拉、拉格朗方程式（*Euler-Lagrange equation*），亦即質點的運動方程式。在相對論中更定義拉格朗密度 $\mathcal{L}$，而一般的作用 I 定義爲積分式

$$I = \frac{1}{c} \int \mathcal{L} \, d\tau$$

式中 $d\tau$ 爲不變體素，即 $d\tau = \sqrt{-g}\, d^4x$，g 是由度規張量所構成的行列式。由此拉格朗理論可以導出重力場方程式和守恆定律。

廣義相對論將重力場幾何化，利用等效原理，將重力場視爲加速度參考坐標，而瑞曼（*Riemann*）幾何結構爲加速度參考系的結構，因重力場的拉格朗密度全爲幾何結構，以 $\mathcal{L}_G$ 代表重力場拉格朗密度，則

$$\mathcal{L}_G = \left(\frac{c^4}{16\pi G} \right) g^{\mu\nu} \left(\Gamma^{\alpha}_{\mu\beta}\Gamma^{\beta}_{\nu\alpha} - \Gamma^{\alpha}_{\mu\nu}\Gamma^{\beta}_{\alpha\beta} \right)$$

$\Gamma^{\beta}_{\alpha\beta}$ 爲奎士托菲（*Christoffel*）第二種符號。全部的$\mathcal{L}$包含拉格朗密度$\mathcal{L}_G$和物質場$\mathcal{L}_M$。

由最小作用原理可以求得場方程式和守恆定律。場方程式由尤拉、拉格朗方程式求之爲

$$\frac{\partial}{\partial x^\alpha}\frac{\partial(\mathcal{L}\sqrt{-g})}{\partial g^{\mu\nu}{}_{\cdot\alpha}} - \frac{\partial(\mathcal{L}\sqrt{-g})}{\partial g^{\mu\nu}} = 0$$

由此所得的愛因斯坦重力場方程式爲

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

$R_{\mu\nu}$爲雷其張量（*Regge tensor*），R爲曲率純量，$T_{\mu\nu}$爲張力能張量。此方程式解得$g_{\mu\nu}$後，可以求行星的運動方程式及光的路程方程式，可將求得的數值與實驗相比較。

守恆定律的形式是能量、動量守恆和數學上的畢安其恆等式（*Bianchi identity*）。畢安其恆等式的形式是

$$\left(R^{\nu}_{\mu} - \frac{1}{2}\delta^{\nu}_{\mu} R \right);\ \nu = 0$$

此處符號“；”代表協變（*covariant*）微分的記號。

【廣義量子條件】（Generalized quantum condition）

由於實驗之要求，須視原子系的能量爲階級式的，即原子中電子的軌道爲非連續者，角動量必須爲 $\frac{n}{2\pi}$ 的整數倍。而此種量子條件無法用以討論兩個自由度或兩個以上自由度的原子系，所以須求廣義的量子條件，其求法如下：

根據浦朗克（*Planck*）能量子說，一次元振動子的能量E

$$E = nh\nu$$

$$\frac{E}{\nu}=nh \qquad (1)$$

一次元振動子的狀態，在古典物理學中常以坐標 q 及動量 p 表示之，其總能量 E

$$E=\frac{p^2}{2m}+\frac{kq^2}{2} \qquad (2)$$

給各項除以 E，即

$$\frac{p^2}{2mE}+\frac{q^2}{2E/k}=1 \text{ 或 } \frac{p^2}{(\sqrt{2mE})^2}+\frac{q^2}{(\sqrt{2E/k})^2}=1$$

茲以 q 爲橫軸，p 爲縱軸就各種不同之 E 值，根據上式可得如圖 15—10 所示的橢圓，此即一次元振動子在 $q-p$ 面上之軌道，如此空間稱爲相空間（ *phase space* ），系統的各狀態可以該空間上之點表示之，系統作

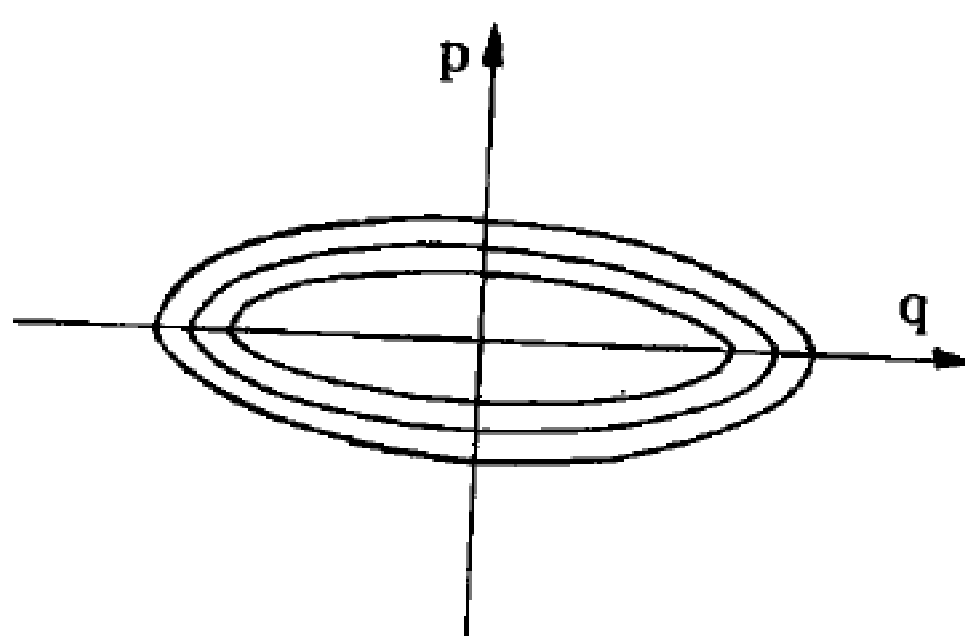


圖 15 — 10

運動時，此點的位置則循閉軌跡而連續的變化，凡在相空間內畫出的軌道通稱爲相軌道（ *phase trajectory* ）。於是，一次元振動子的相軌道爲橢圓，其長短二軸的長度，就已知 m 及 k 之振動子而言，係視能量 E 而定，故其不同的狀態，可以相軌道所包括的面積區別之。茲求此相軌道所包括的面積，用以表示該系統之狀態。曲線 $y=f(x)$ 所包括之面積爲 $\int ydx$，故某相軌道所包括的面積 J

$$J=\oint pdq \qquad (3)$$

$\oint$ 係指沿著閉軌道求積分之意，由（2）式得 $p=\sqrt{2m(E-\frac{k}{2}q^2)}$ 將此 p 代入（3）式

$$J=2\int_{q_1}^{q_2}\sqrt{2m(E-\frac{k}{2}q^2)}\,dq$$

q_1 及 q_2 爲滿足下式之二根

$$E - \frac{k}{2} q^{2} = 0$$

由此式得 q_1 及 q_2 分別爲 $-\sqrt{\frac{2E}{k}}$ 及 $+\sqrt{\frac{2E}{k}}$ 。於是

$$J = 2\sqrt{2m}\sqrt{\frac{k}{2}}\int_{q_1}^{q_2} \sqrt{\sqrt{\frac{2E^2}{k}} - q^2}\, dq$$

根據積分公式

$$\int_{q_1}^{q_2} \sqrt{\sqrt{\frac{2E}{k}} - q^2}\; dq = \left| \frac{q}{2}\sqrt{\frac{2E}{k} - q^2} + \frac{2E/k}{2}\, sin^{-1} \frac{q}{\sqrt{2E/k}} \right|_{-\sqrt{\frac{2E}{2}}}^{+\sqrt{\frac{2E}{2}}} = \frac{E}{k}\pi$$

$$\therefore \quad J = 2\sqrt{2m}\;\sqrt{\frac{k}{2}}\;\frac{E}{k}\pi = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}E \qquad (4)$$

(4) 式所示的結果，亦可用下式直接求之

$$J = \text{橢圓面積} = \pi \times \sqrt{2mE} \times \sqrt{\frac{2E}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}E$$

此振動子的頻率 $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

故 $\oint p dq = \frac{E}{\nu}$

又因 (1) 式，故 $\oint p dq = n h$

此式通稱爲自由度爲 1 的週期系統之量子條件，如是形狀的量子條件可稱之爲廣義量子條件。式中 $\oint p dq$ 常稱爲作用積分 (*action integral*)。最先是由威爾遜 (*Wilson*) 及左末非 (*Sommerfeld*) 所導出。

【廣播】(Broadcast)

為公衆而播出娛樂性或有教育意義的節目。無線電廣播可以用長波、短波和超短波來實現的。

【廣播電臺】(Broadcasting station)

具備播音室(*broadcasting studio*)和射頻發送機的電臺。其播音室是一個專為播送節目而備有良好隔聲設備的房間。播音人員的聲音可避開牆壁和地板的反射，以免發生回聲作用。

【廣播電波】(Broadcasting current)

廣播電臺是用下列的裝置播出電波(圖 15—11)。

1. 用麥克風把聲音變成聲音電流，再用放大器加強。

2. 用水晶振盪器等製造高週波電流。

3. 用調波器，使高週波電流的振幅，隨聲音電流的波形而變化。

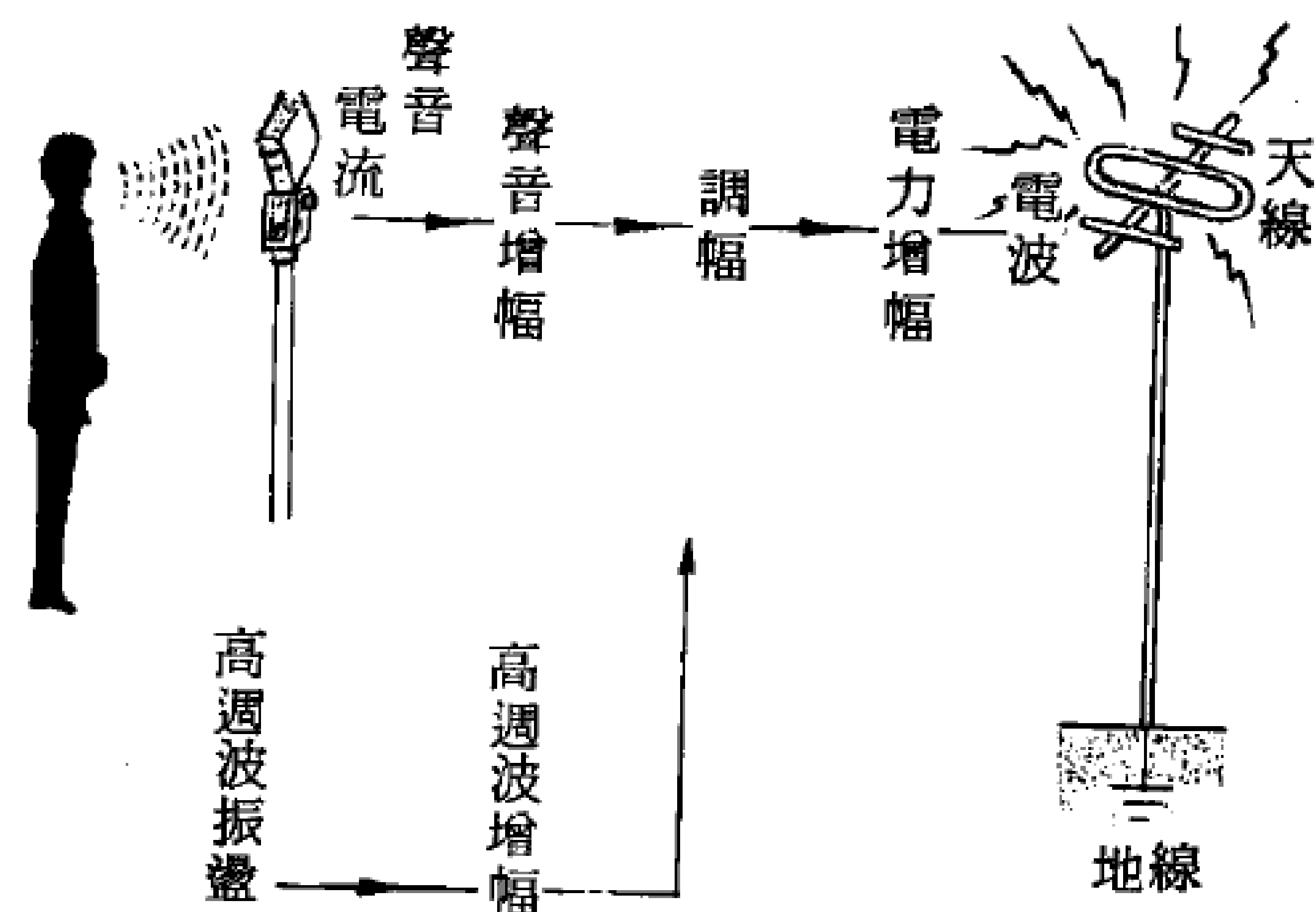


圖 15 — 11　廣播程序

4. 把調波過的高週波電流放大，使流經天線，送出電波。

【彈力】(Elastic force)

物體受外力作用而形變後，若使外力撤去，物體能回復原狀的力，叫做彈力。

彈力的來源是由於分子間的作用力既有“吸引力”又有“排斥力”，兩者互相平衡時，物體就呈現正常的形狀與大小，當外力使物體的作用力不平衡時，作用力有使其恢復平衡的趨勢，因而就產生了彈力。

【彈性】(Elasticity)

物體受外力作用，在沒有破壞以前，產生相當程度的形變，當外力消失後，物體隨即恢復原先的形狀的性質稱爲彈性。具有彈性的物體稱爲彈性體（ *elastic body* ），如發條、彈簧等。

【彈性位能】（ Elastic potential ）

是用彈簧或橡膠等彈性體吊起物體，使其伸長或收縮形變時，所蘊存的能。其能的大小是依形變時所需要的功量來決定。如果是在同一彈性體，則形變愈大，彈力所引起的位能愈大。

【彈性形變】（ Elastic deformation ）

固體受外力作用而使各點間相對位置的改變。當外力消除後，固體又回復原狀。

【彈性限度】（ Elastic limit ）

又叫彈性限界。當虎克定律不能再適用時之應力稱爲物質之彈性限度。

彈性體受外力作用時，若作用力太大，則彈性體失去彈性不能回復原狀，所以彈性體的彈性是有一定的範圍的，即不至使彈性體呈永久應變之最大應力。鋼鐵的彈性限度很大，金銀的彈性限度很小。當作用力超過彈性限度時，物體就顯出塑性形變（ *plastic deformation* ）。

【彈性後效】（ Elastic after-effect ）

物體恢復原狀時，須歷相當時間之現象。橡皮玻璃即爲彈性後效之顯例；但晶體中如石英晶體等，則無此種效應。

【彈性係數】（ Modulus of elasticity ）

彈性係數是遵從虎克定律（ *Hooke's law* ）的固體之應力與應變之比值。對於不同型式的應變有不同的係數：

1. 楊格係數（ *Young's modulus* ）$=\dfrac{\text{單位截面的負載}}{\text{單位長度的長度增加量}}$；

這應用於線、棒、柱等側面未受限制的張應力。

2.容積彈性係數 $=\frac{\text{單位面積的壓(或張)力}}{\text{單位體積的體積變量}}$；這應用於壓縮或膨脹時，例如，物體受到流體的壓力。

3.切變係數 $=\frac{\text{單位面積的切向力}}{\text{角變形量}}$。

4.軸變係數或軸向彈性係數（*axial modulus*），與楊格係數的定義相同，只是物體側面有限制，因此沒有側向變量。

應變是一比值，沒有因次，彈性係數的因次與應力相同，即

$$\text{力/面積} = ML^{-1}T^{-2}$$

物理彈性係數表內的係數值都是等溫狀態下所量得。如果應力與應變並非正比關係（如木料、水泥、大理石等），則彈性係數的定義就應改為：在某應力下，應力變量與應變變量之比。

【彈性疲乏】（Elastic fatigue）

彈性體彈力的保持，與外力的時間有關。若外力作用的時間過長，則雖在彈性限度以內，外力除去後，物體的彈性減弱或消失，物體不易恢復原狀或不能恢復原狀。此種現象，叫做彈性疲乏。例如彎竿成弓，數日以後，雖去其繩，竿不能直。又如彈簧力的鬆弛。

【彈性倔強常數】（Elastic stiffness constant）

在虎克定律（*Hooke's law*）的假設下，可以將應力（*stress*）的分量表為應變（*strain*）分量的線性函數

$$X_x = C_{11}e_{xx} + C_{12}e_{yy} + C_{13}e_{zz} + C_{14}e_{yz} + C_{15}e_{zx} + C_{16}e_{xy}$$

$$Y_y = C_{21}e_{xx} + C_{22}e_{yy} + C_{23}e_{zz} + C_{24}e_{yz} + C_{25}e_{zx} + C_{26}e_{xy}$$

$$Z_z = C_{31}e_{xx} + C_{32}e_{yy} + C_{33}e_{zz} + C_{34}e_{yz} + C_{35}e_{zx}$$

$$+ C_{36} e_{xy}$$

$$Y_z = C_{41} e_{xx} + C_{42} e_{yy} + C_{43} e_{zz} + C_{44} e_{yz} + C_{45} e_{zx} + C_{46} e_{xy}$$

$$Z_x = C_{51} e_{xx} + C_{52} e_{yy} + C_{53} e_{zz} + C_{54} e_{yz} + C_{55} e_{zx} + C_{56} e_{xy}$$

$$X_y = C_{61} e_{xx} + C_{62} e_{yy} + C_{63} e_{zz} + C_{64} e_{yz} + C_{65} e_{zx} + C_{66} e_{xy}$$

式中係數C_{11} ，C_{12} … 稱爲彈性倔強常數，其因次是〔力〕／〔面積〕或〔能量〕／〔體積〕。

【彈性順從常數】(Elastic compliance constant)

在彈性體的問題中，用直角坐標表示應變(*strain*)時，有下列六個獨立分量：

$$e_{xx}\ ,\ e_{yy}\ ,\ e_{zz}\ ,$$

$$e_{yz}\ (= e_{zy})\ ,\ e_{zx}\ (= e_{xz})\ ,\ e_{xy}\ (= e_{yx})$$

若$\overrightarrow{r}$和$\overrightarrow{r}'$分別爲變形前後彈性體內某點的位置向量，則位移爲

$$\overrightarrow{R} \equiv \overrightarrow{r}' - \overrightarrow{r}$$

在直角坐標中，$\overrightarrow{R}$的三個分量分別是u、v和w，即

$$\overrightarrow{R} = u\vec{\hat{x}} + v\vec{\hat{y}} + w\vec{\hat{z}}$$

在變形極微而能用第一階近似時，應變分量的定義如下：

$$e_{xx} = \partial u / \partial x$$

$$e_{yy} = \partial v / \partial y$$

$$e_{zz} = \partial w / \partial z$$

$$e_{yz} = \partial v / \partial z + \partial w / \partial y$$

$$e_{zx} = \partial w / \partial x + \partial u / \partial z$$

$$e_{xy} = \partial u / \partial y + \partial v / \partial x$$

其物理意義可解釋爲 e_{xx} 是在 x 方向上每單位原長度變形後所增加的量，e_{yz} 是變形後，投影在 yz 平面的角度。

應力是作用在彈性體單位面積上的力。應力也有六個獨立的分量：

X_x , Y_y , Z_z , Y_z ($=Z_y$) , Z_x ($=X_z$) , X_y ($=Y_x$)

式中大寫字母表示力作用的方向，小寫字母表示力所作用的平面的垂直方向。

在虎克定律 (*Hooke's law*) 的假設下，應變與應力 (*stress*) 成正比。所以應變分量是應力分量的線性函數：

$$e_{xx}=S_{11}X_x+S_{12}Y_y+S_{13}Z_z+S_{14}Y_z+S_{15}Z_x+S_{16}X_y$$

$$e_{yy}=S_{21}X_x+S_{22}Y_y+S_{23}Z_z+S_{24}Y_z+S_{25}Z_x+S_{26}X_y$$

$$e_{zz}=S_{31}X_x+S_{32}Y_y+S_{33}Z_z+S_{34}Y_z+S_{35}Z_x+S_{36}X_y$$

$$e_{yz}=S_{41}X_x+S_{42}Y_y+S_{43}Z_z+S_{44}Y_z+S_{45}Z_x+S_{46}X_y$$

$$e_{zx}=S_{51}X_x+S_{52}Y_y+S_{53}Z_z+S_{54}Y_z+S_{55}Z_x+S_{56}X_y$$

$$e_{xy}=S_{61}X_x+S_{62}Y_y+S_{63}Z_z+S_{64}Y_z+S_{65}Z_x+S_{66}X_y$$

式中係數 S_{11} , S_{12} , …稱爲彈性順從常數，其因次是〔面積〕/〔力〕或〔體積〕/〔能量〕。

【彈性碰撞】(Elastic collision)

兩物體碰撞前的動能之和，與碰撞後的動能之和相等時，稱爲彈性碰撞。此種碰撞過程中，可能有動能與位能的互變，但碰撞的淨效果則不會使動能轉變爲其他形式的能量。

在此考慮一個一維空間之彈性碰撞。想像二光滑不滾動之球，沿二球中心連線運動，正向碰撞後沿原直線運動，亦無滾動。碰撞時此二物體之相互作用力，沿原運動線，故最後之運動仍沿此線。

二球的質量爲 m_1 與 m_2 ，碰撞前速度分量 (純量) 爲 v_{1i} 和 v_{2i} ，碰撞後爲 v_{1f} 與 v_{2f} 。速度和動量均向右爲正。如非特別說明，皆假定碰撞物體之速度甚小，不需動量與能量之相對性表示。由動量守恆原理

得 $$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

因爲彈性碰撞，動能守恆，可得

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}{}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}{}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}{}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}{}^2$$

如已知質量和初速度，由此二方程式即可求得碰撞後之速度 v_{1f} 和 v_{2f} 。動量方程式可寫爲

$$m_1 (v_{1i} - v_{1f}) = m_2 (v_{2f} - v_{2i}) \qquad (1)$$

能量方程式可寫爲

$$m_1 (v_{1i}{}^2 - v_{1f}{}^2) = m_2 (v_{2f}{}^2 - v_{2i}{}^2) \qquad (2)$$

以(1)式除(2)式，並設 $v_{2f} \neq v_{2i}$ ， $v_{1f} \neq v_{1i}$ ，可得

$$v_{1i} + v_{1f} = v_{2f} + v_{2i}$$

整理後爲

$$v_{1i} - v_{2i} = v_{2f} - v_{1f} \qquad (3)$$

由此可知在一維空間之彈性碰撞，碰撞前之相對接近速度等於碰撞後之相對分離速度。

可用上三式中之任何二式，由碰撞前之速度分量 v_{1i} 和 v_{2i} 求得碰撞後之速度分量 v_{1f} 和 v_{2f} 。故由(3)式

$$v_{2f} = v_{1i} + v_{1f} - v_{2i}$$

代入(1)式解得 v_{1f}

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) v_{1i} + \left(\frac{2 m_2}{m_1 + m_2} \right) v_{2i}$$

同樣，將 $v_{1f} = v_{2f} + v_{2i} - v_{1i}$ 〔由(3)式〕代入(1)式解得

$$v_{2f} = \left(\frac{2 m_1}{m_1 + m_2} \right) v_{1i} + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) v_{2i}$$

尙有幾個特別重要之情形，例如，當碰撞質點有相同之質量時，m_1 等於 m_2 ，則前二式變爲

$$v_{1f} = v_{2i} \quad 及 \quad v_{2f} = v_{1i}$$

即在一維彈性碰撞時，等質量之二質點交換速度。

另一情形是二質點之一，m_2 原爲靜止，則 v_{2i} 爲零，且

$$v_{1f} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) v_{1i} \qquad v_{2f} = \left(\frac{2m_1}{m_1 + m_2} \right) v_{1i}$$

當然，如 $m_1 = m_2$，則 $v_{1f} = 0$，$v_{2f} = v_{1i}$。質點 1 被呆住（*stopped cold*），質點 2 以質點 1 之原速度起飛（*takes off*）。如 m_2 遠大於 m_1，則

$$v_{1f} \cong - v_{1i} \quad 及 \quad v_{2f} \cong 0$$

即當一輕質點與一靜止之極重質點相碰，輕質點的速度將反向，重質點仍近似靜止。例如一球垂直落於水平地面，此實爲球與地球之碰撞，若爲彈性碰撞，球將以相反之速度彈回，並將回至球下落之高度。

如 m_2 甚小於 m_1，可得

$$v_{1f} \cong v_{1i} \qquad v_{2f} \cong 2v_{1i}$$

意即碰撞時，重質點的速度實無改變，而輕質點以近似二倍於入射質點的速度彈出。保齡球與同樣大小之充氣的水球相碰，保齡球的運動幾乎不受影響，而氣球迅速彈開。

【彈性擴散】（Elastic diffusion）

彈性擴散是當中子與原子核碰撞後，中子消失了部分能量，而原子核所獲也僅只是動能，並不會另外放出中子而使本身呈激動狀態（*excited state*）的現象。

【彈性體】（Elastic body）

所謂彈性體，就是說當物體所受外力解除時，能夠迅速地恢復其原來之形狀的連續體。

【彈簧波】（Spring wave）

如圖 15—12所示，將彈性較弱的彈簧之兩端固定，用手在一端按

一下，則彈簧就產生疏密相間，且一個接一個傳向另一端。這種情形，因彈簧是在與波的進行方向上振動，所以是一種縱波。如在光滑的床上，使彈簧左右振動，則產生和繩子振動時一樣的波，這種情形稱之爲橫波。

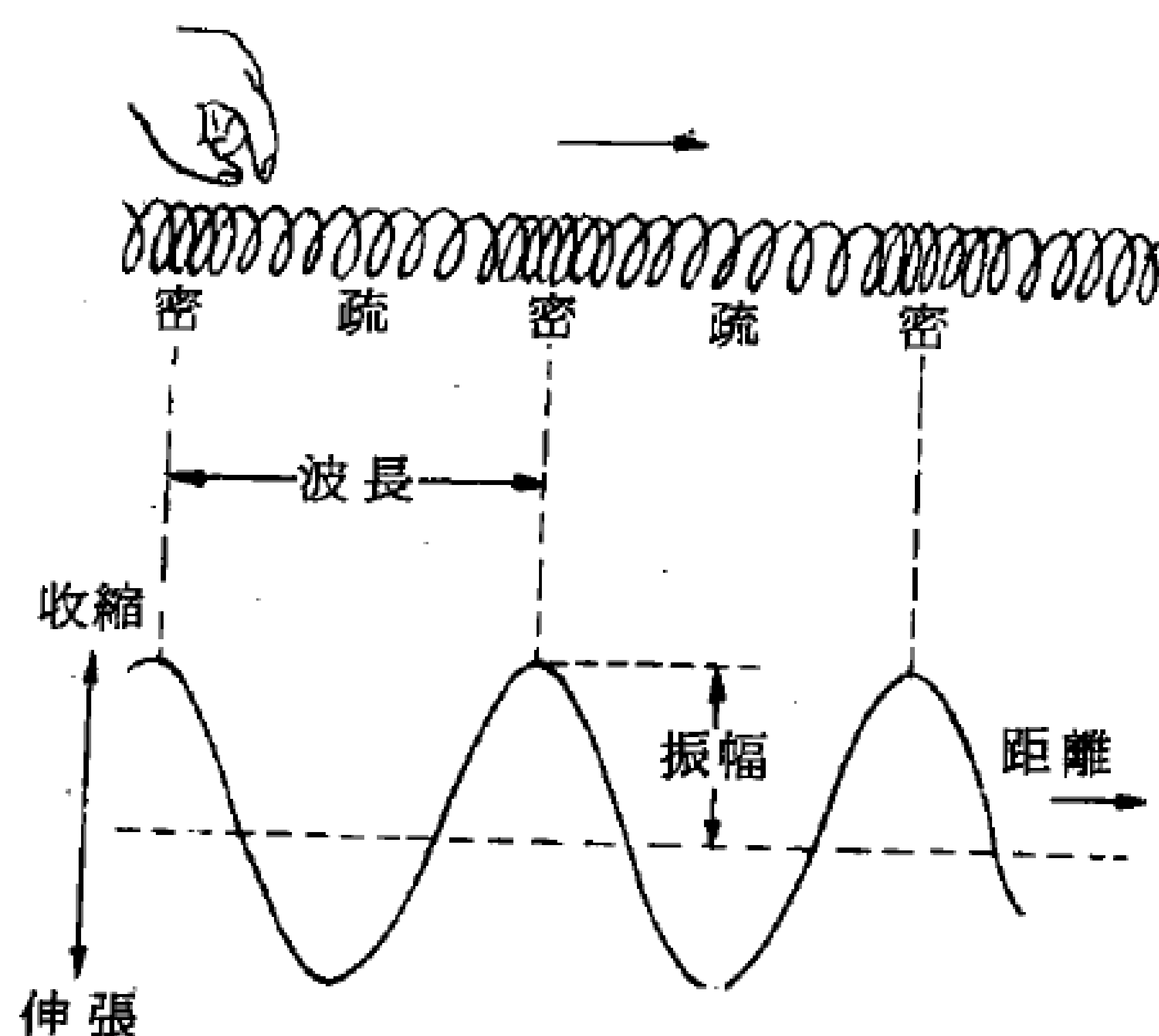
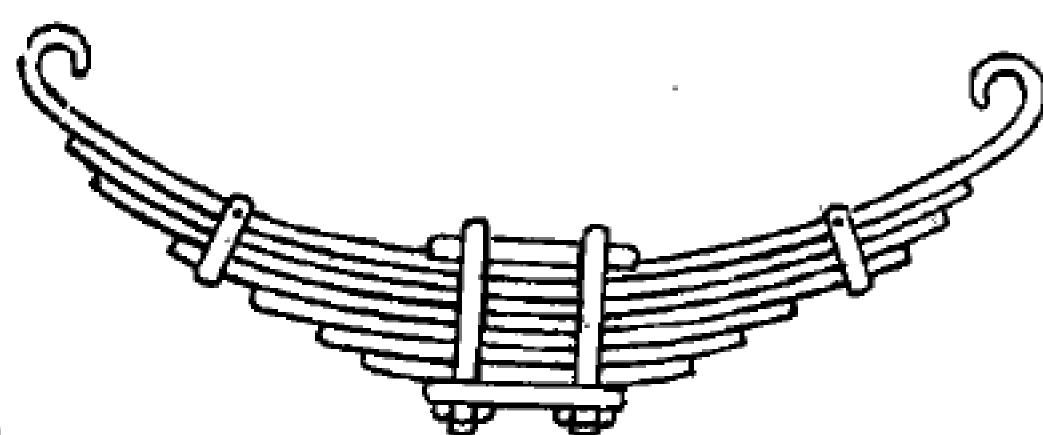


圖 15 — 12　彈簧的波

【彈簧板】(Spring plate)

如圖 15—13所示，支持在車輪的彈簧板是爲了因路面不平，而發生急遽的振動時，彈簧板能形變，緩和振動，使衝擊不致直接傳到乘客。


圖 15 — 13

【彈簧秤】(Spring balance)

彈簧秤係應用虎克定律原理而製成，用以測量力之大小和物體重量 (非質量) 等之器具。把螺形彈簧的下端固定於帶指標的圓筒，將此筒套進於有分劃的圓筒 (圖 15—14(*a*)) 而固定其上端。如由外面加力，螺形彈簧則伸長而帶指標的圓筒也同時往下動，讀取指標所指的分劃，則可測定重量的大小。

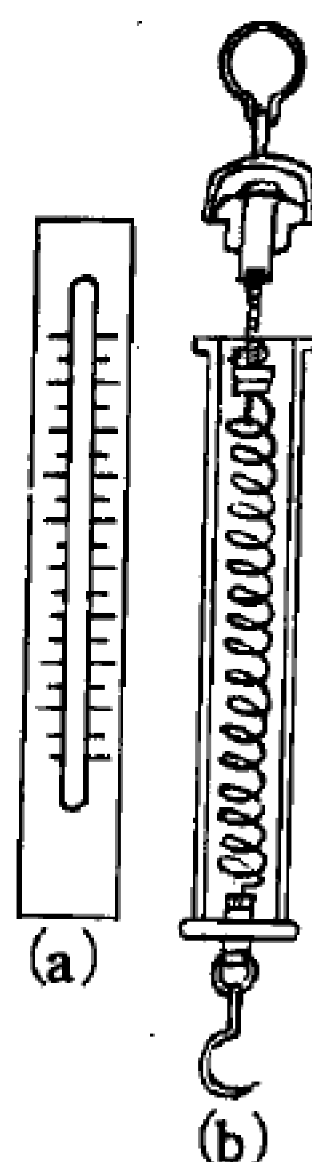


圖 15 — 14
彈簧秤內部構造

【影】(Shadow)

光向不透明體照射時，在照不到處所現的黑色。由於光是直線前進的，故會形成影，影分爲本影及半影。

1. 本影——光源上所有的光線都不能到達的暗黑部分。

2.半影——部分光照射不到所現之淡黑色之處。

光源爲一點時僅有本影一種；光源爲二點或非點光源時，則有本影、半影二種。其遮光體小於發光體（或二點光源間之距離）時，本影呈發散型；遮光體大於發光體，本影呈錐形。

【影像信號】（Video signal）

電視發送中與發射影像各個像素相對應的信號。這些信號對影像發射機進行調制；而在電視接收機接收影像時，這些信號則由檢波器分離出來。爲了獲得大的清晰度，必須將影像分解爲許許多多的像素，與此相應，必須在一秒鐘內發出非常多的影像信號。因此，在高質量電視中，影像信號佔據著從最低頻率一直到4～6兆赫的頻帶。

【影頻信號】（Picture signal）

電視之射頻載波包括節目中的畫像。

【影頻接收機】（Picture receiver）

接收機只接收電視畫像者。

【影繪式投影】（Shadow projection）

最單純的投影法。如圖15－15所示，設點光源P與實物O間距離爲a，P與影幕S間距離爲b，則有放大率b/a的像映在影幕上。光繞射的影響可以忽視之，但光源的面積與放大率愈大，像的鮮明度則愈小。因此需要使用面積小、輝度高的光源，並且普通都把放大率限於10倍以內使用。

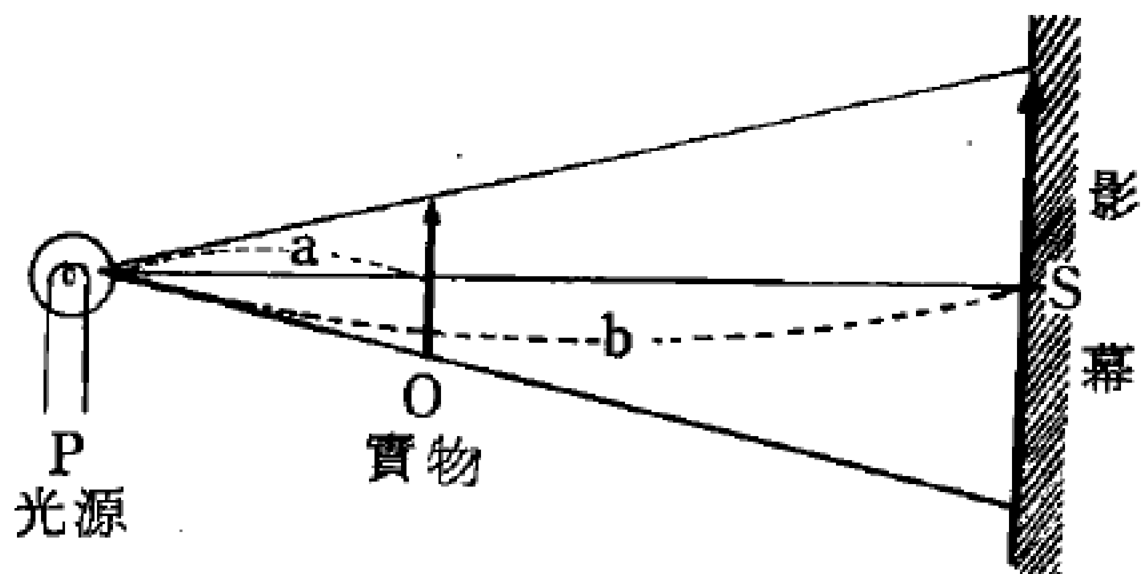


圖 15 — 15

【德布洛利】（Louis Victor Pierre Raymond, Prince De Broglie 1892－）

是位出身於法國望族的法國物理學家。1892年八月十五日生於第

厄普。巴黎大學文理學院畢業，1924年發表一篇著名的論文"量子理論的研究"，認爲物質也和光一樣同時具有波和粒子的雙重性質。1927年德維生（*Davisson*）和革末（*Germer*）由實驗證實電子射至晶體時有繞射現象，顯示其波的性質，並且波長與德布洛利由理論上推出的結果一致。 1928年回母校任理論物理學教授 。1929年獲諾貝爾物理學獎。薛丁格（*Schrödinger*）將德布洛利的物理觀念用數學形式表示，而導出量子力學中最基本的薛丁格方程式（*Schrödinger equation*）。1933年當選法國科學院院士，並自1942年起任科學院永久秘書。

【德布洛利、愛因斯坦關係】（De Broglie-Einstein relation）

愛因斯坦在光電效應（*photoelectric effect*）中，曾假設電磁波的量子化，即頻率爲 ν 的光，有粒子（光子）的性質，而此粒子的能量爲 $h\nu$。後德布洛利於1924年提出一假設，即一粒子如有能量 E（相對論中的總能量）和動量 p，則此粒子的運動也有波動的性質，波的角頻率 ω（$=2\pi\nu$）和波數 k（$=2\pi/\lambda$）爲：

$$\omega=\frac{E}{\hbar} \qquad k=\frac{p}{\hbar}$$

可以由 E 和 $\vec{p}$ 求出，這種波稱爲物質波（*matter wave*），平常粒子其波長非常短，一千分之一克以每秒一厘米速度進行的粒子，其物質波的波長爲 $\lambda=h/p\simeq 6.6\times 10^{-23}$ 厘米，不可能觀察到。但普通原子中的電子，其波長和原子的大小相若，此時，粒子的波動性就不能忽略，顯得很重要。1927年美國科學家德維生（*Davisson*）和革末（*Germer*）利用快速電子射束撞擊鎳（*Ni*）晶體，從散射到各方向的電子數，發現其有相當於波干涉現象的分佈，因而證實德布洛利的假設。

因此由粒子的波動性和波動的粒子性，即德布洛利的假設和愛因斯坦的假設，確定物質的二象性，故

$$p \leftrightarrows \hbar k \qquad E \leftrightarrows \hbar\omega$$

稱爲德布洛利、愛因斯坦關係。

【德布洛利波】(De Broglie wave)

德布洛利受光量子學說的啓示，於1924年提出了一構想，認爲一運動的粒子，必附屬有物質波(*matter wave*)，其運動情形可以此物質波說明。設此運動粒子的質量、速度及動量分別爲M、V及P，則此物質波的波長爲

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{MV}$$

式中h爲浦朗克常數(*Planck constant*)。此波稱爲德布洛利波，其波長爲德布洛利波長(*De Broglie wave length*)。如一電子，其動能爲100電子伏特，則其德布洛利波長約爲1.22×10^{-8} 厘米。

在1926年艾爾沙塞(*Elsasser*)指出可用試驗X射線波動性質的同樣方法以試驗物質的波動性質，即將適當能量的電子射束射於結晶固體上，晶體原子作爲電子波的三維排列的繞射中心；正如X射線繞射，應於某些特殊方向尋找繞射強峯。

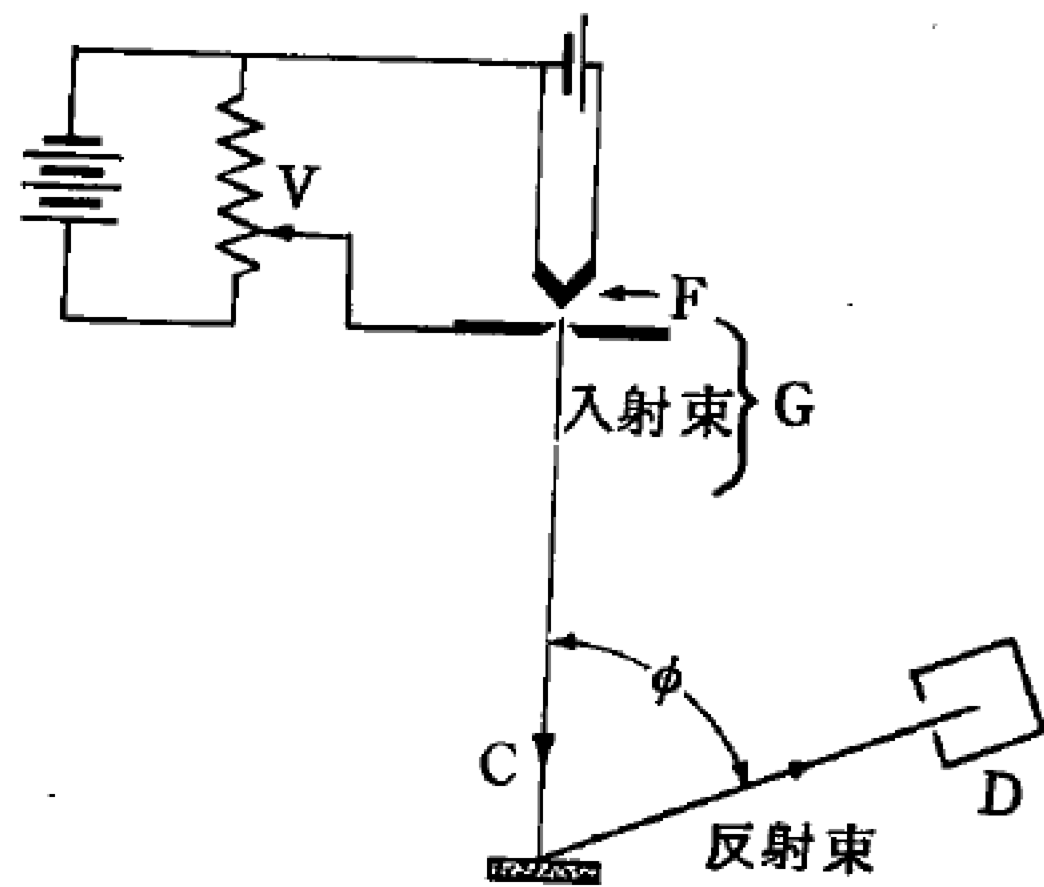


圖 15 — 16
德維生和革末的儀器。由燈絲F放出的電子經可變電位差V加速，在晶體C處"反射"後由探測器D所收集。

美國的德維生(*C. J. Davisson*)和革末(*L. H. Germer*)及蘇格蘭的湯木生(*G. P. Thomson*)加以實驗。圖15—16陳示德、革二位的儀器，電子由加熱的燈絲放出，經可變電位差V加速，以動能eV從電子槍G射出。將此電

子射束垂直射於C處之鎳（Ni）的單晶體上，探測器D置於特定角度ϕ，在不同的加速電位V值時，取得反射束強度的讀數。圖 15—17 陳示$V = 54$伏特時，在$\phi = 50°$處出現的強電子束。

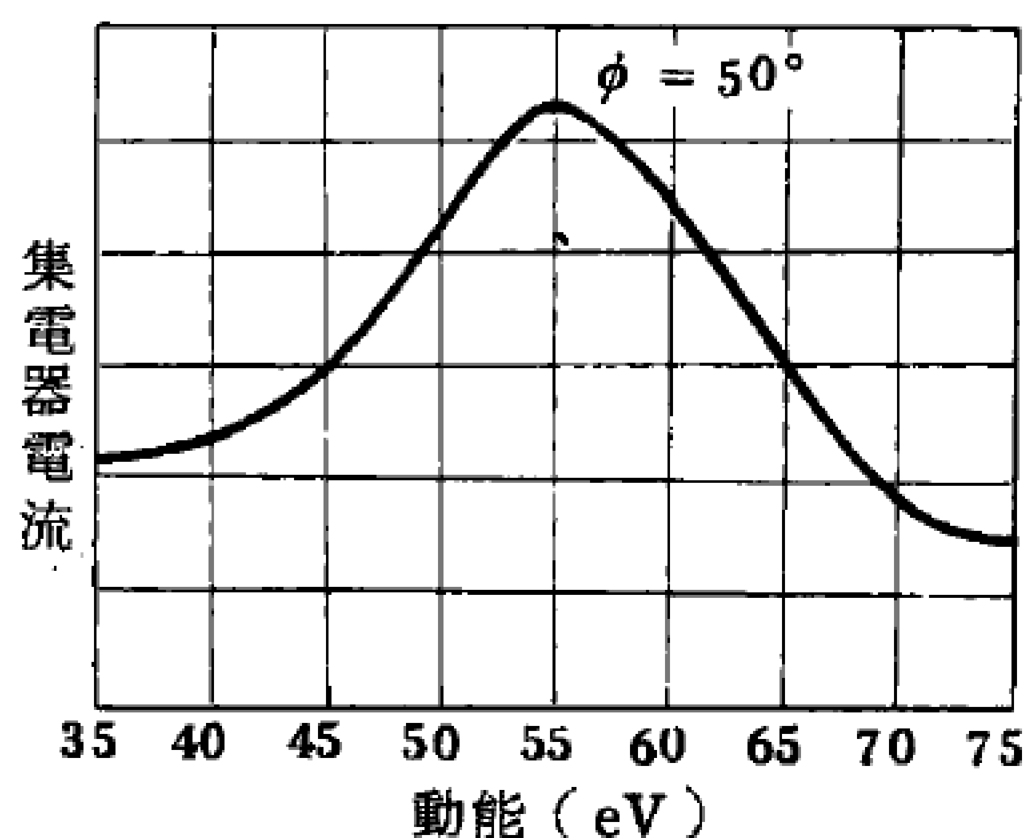


圖 15 — 17

圖 15 — 16 中探測器D的集電器電流爲入射電子動能的函數，圖示一繞射極大。圖 15 — 16 中之角度ϕ調整爲50°。若用稍小或稍大的角度，繞射極大即消失

所有這種強反射束可解釋如下：設電子射束有波長爲$\lambda = h/p$，恰如X射線的情形一樣，自某些原子平面族上出現布勒格反射（*Bragg reflection*）。

圖 15—18陳示此種布勒格反射，遵守布勒格關係式

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (n = 1, 2, 3, \cdots)$$

如圖 15—18的情況時，可由X射線分析而得平面間有效距離d爲$0.91\,\mathring{A}$。因ϕ等於 50°，故θ等於$90° - \frac{1}{2} \times 50°$，即65°，若設$m = 1$，由上式可求得波長爲

$$\lambda = 2d\sin\theta = 2(0.91\,\mathring{A})(\sin 65°) = 1.6\,\mathring{A}$$

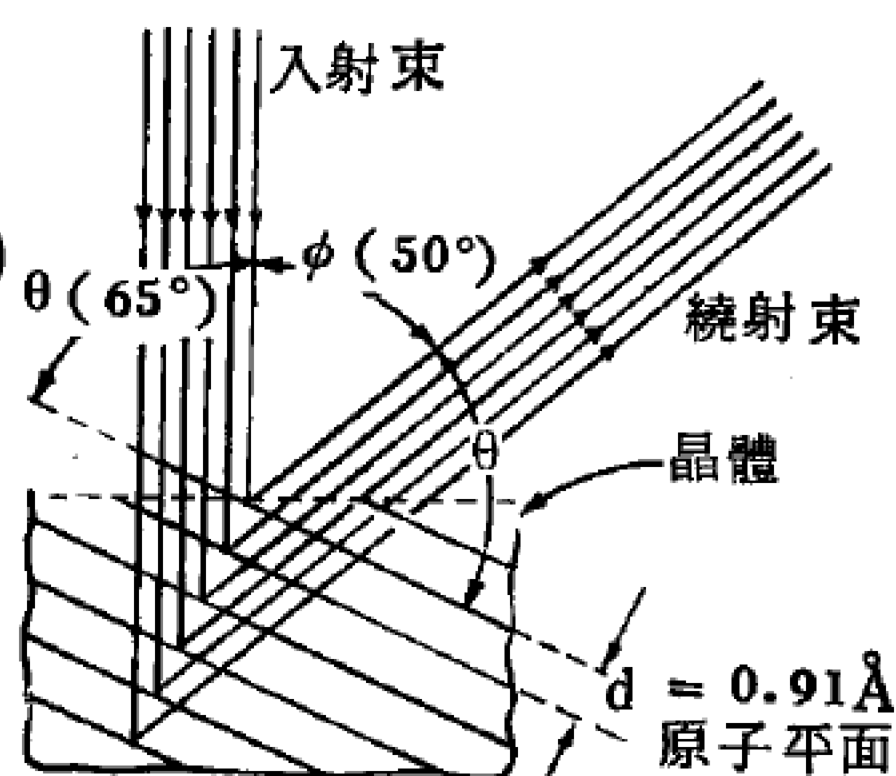


圖 15 — 18

在$\phi = 50°$和$V = 54$伏特時，由所示原子平面族的波性“反射”而成的強繞射束，其中$d = 0.91$ A 布勒格角爲 65°。爲簡化計，已忽略繞射波離開表面時的折射

54 eV電子的波長由德布洛利關係式$\lambda = h/p$計算爲$1.64\,\mathring{A}$。這種極佳的符合，及其他甚多的相似證據，是令人信服電子在某種情況時爲波性的有力論證。

【德拜】（Peter Joseph William Debye 1884 - ）

荷蘭著名之物理及化學家，1884 年生於荷蘭之馬斯垂克（*Maa-*

stricht），在德國亞琛（*Aachen*）之工程學校求學。由於研究分子構造的成就，獲1936年諾貝爾化學獎，自1940至1950年間曾任康乃爾大學化學系主任。

【德拜、瓦勒因數】（Debye-Waller factor）

晶體的散射強度，隨溫度T的升高，而以e^{-2w}的因數減弱，這因數稱爲德拜、瓦勒因數。在高溫時此因數爲

$$e^{-2w} = exp(-3\hbar^2 K^2 T/Mk\theta_D^2)$$

式中$\hbar$爲浦朗克常數（*Planck constant*）h除以2π，M爲晶體內原子的質量，k爲波茲曼常數（*Boltzmann constant*），θ_D爲德拜溫度，$\vec{K}$爲散射向量。此式很明顯地表示德拜、瓦勒因數深受溫度T和散射向量K的影響。在溫度低於德拜溫度時，這關係式很複雜，但在極低的溫度時，由於晶格零點運動的效果，w將趨近一常數，

即 $$w \to \frac{3\hbar^2 K^2}{8Mk\theta_D^2} \qquad T \to 0°K$$

其值約爲溫度T等於德拜溫度θ_D時的$\frac{1}{4}$。

【德拜、叶若環】（Debye-Scherrer ring）

若使單色X射線經細縫而投射至粉末結晶上，此時可以攝得一群同心環。因當單色X射線投射至多結晶（或是粉末狀結晶）上時，由於此種結晶係由頗多的單結晶所組成，故對於已知波長λ有很多結晶網面系，可供X射線作布勒格反射（*Bragg reflection*），如圖15—19所示

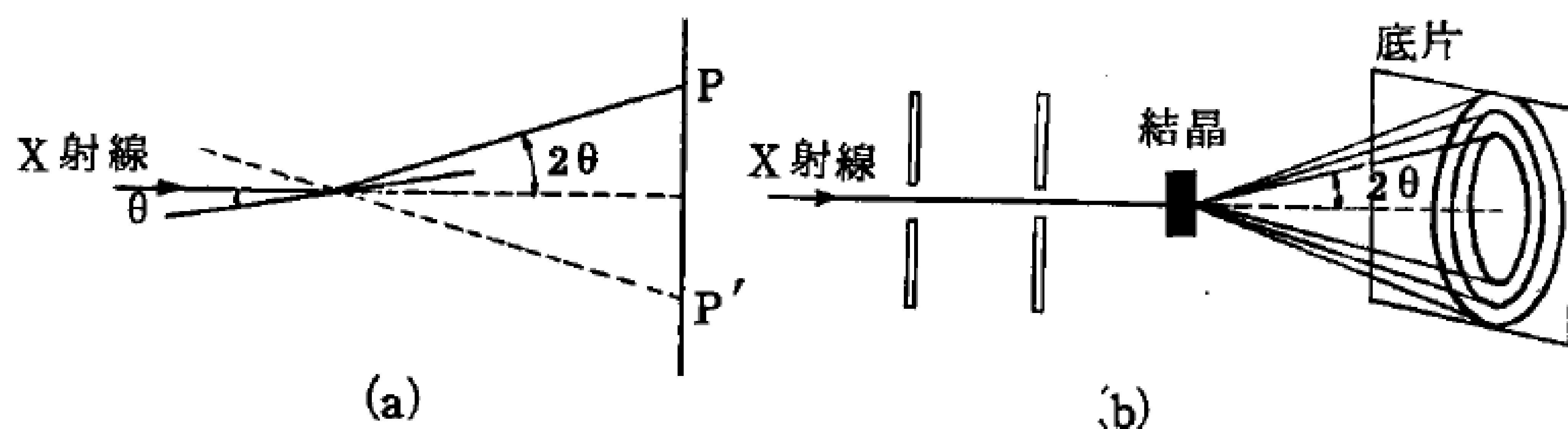


圖 15 — 19

，一滿足布勒格反射條件之反射 X 射線則循半頂角 2θ 之圓錐面進行，而使在與入射線方向成垂直的照相板或螢光板上生一圓環。再就另一滿足布勒格反射條件之結晶網面系言，因照射角 θ 不同，又有一環出現於該板上。因如是之結晶網面甚多，故在該板上同時出現一群同心環。由此環可分析結晶之構造，此法首為德拜、叶若（*Debye-Scherrer*）二位所提出，故稱此種環為德拜－叶若環。

此法之應用範圍很廣。可用來分析結晶的構造，亦可應用此法鑑定：(1)資料是結晶質抑是非結晶質，(2)資料有無內應變（*internal strain*），(3)不明資料之鑑定。從實驗得知用結晶質攝出的環甚為清楚，故從攝得的繞射環清楚與否可判定資料為結晶質抑是非結晶質。結晶內部有扭歪之現象時，格子面間距離因地而異，以致繞射環幅度變化，有時繞射環也移動，依此關係可鑑定資料有無內應變。不明資料之鑑定法，係先測出每個繞射環的直徑，繼用眼判別各環的強度，然後將所得的結果與記錄表比較，查出與何者相符，如是即可將不明資料判別出來。

【德拜、徐克屏蔽】（Debye - Hückel screening）

設想一費米（*Fermi*）自由電子氣體的金屬中，在金屬中某位置 r 處，有一很小微擾能量（*perturbed energy*）δu，由托馬士、費米近似法（*Thomas-Fermi approximation*）假設，對其他 $\delta u=0$ 的地方而言，此處費米分佈相對的增加 δu。但費米位能 E_F 在整個金屬中是定值，所以在 r 處能量為 E_F 的電子會流動到別處 $\delta u=0$ 的地方，如圖 15—20 所示。因此在 r 處的電子電荷密度會改變：

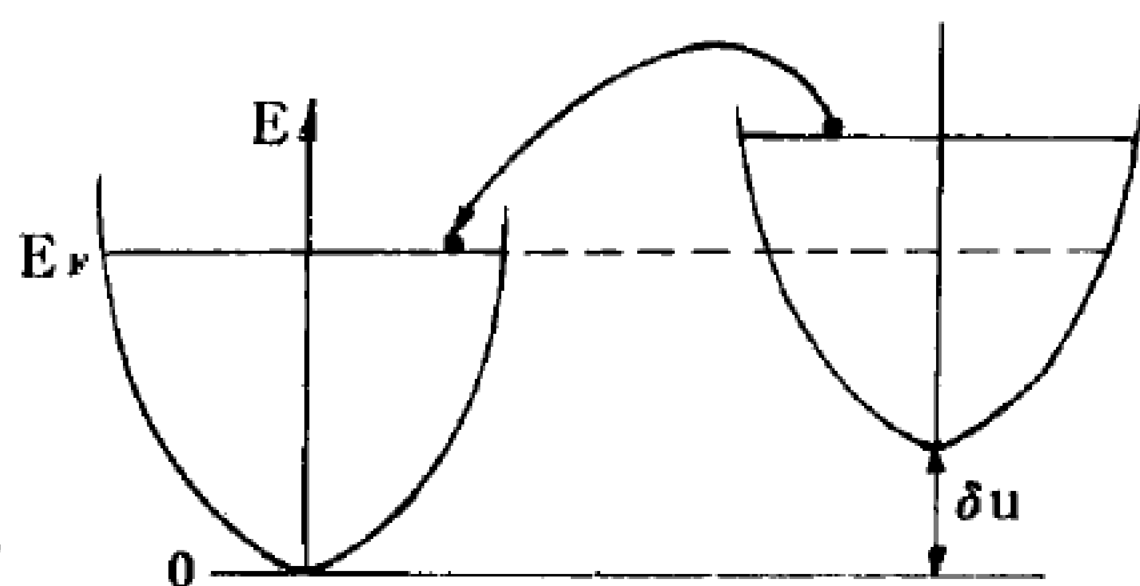


圖 15—20
微擾對費米分佈的影響

$$\delta n(r) = -N(E_F) \cdot \delta u(r)$$

式中$\delta n(r)$是在r處電荷密度的改變，$N(E_F)$是費米能階的狀態密度。

可是德拜和徐克假設電子態不是費米自由電子氣體，而爲一種古典氣體，所以他們在上述方程式中以波茲曼（*Boltzmann*）分佈代替費米分佈，故

$$\delta n(r) \approx n_0 \exp(-\delta u/kT) - n_0$$
$$\approx -n_0 \cdot \delta u/kT$$

n_0是平均電荷密度。

由帕松方程式（*Poisson equation*）

$$\nabla^2(\delta u) = -4\pi e^2 \delta n$$
$$= \frac{4\pi e^2 n_0}{kT} \cdot \delta u$$

得德拜、徐克公式 $$\lambda^2 = \frac{4\pi e^2 n_0}{kT}$$

故 $$\delta u = \frac{e^2}{r} \exp(-\lambda r)$$

$1/\lambda$就是屏蔽長度。

參閱“靜電屏蔽（*Electrostatic screening*）”條。

【德拜T^3定律】（Debye T^3 law）

在低溫時，固體的晶格熱容量C_V與溫度T的三次方成正比，稱爲德拜T^3定律。此結果可由晶格熱容德拜模型導出。

參閱“晶格熱容德拜模型（*Debye model of the lattice heat capacity*）”條。

【德拜比熱理論】（Debye theory of specific heat）

在研究固體比熱時，德拜將組成固體的諸原子視爲在相互作用下作振動，而認爲其頻率ν由0至某一最大值ν_m。

具有彈性的質點由振動所形成的波，德拜理論將其視為彈性波(*elastic wave*)，如就三次元能將頻率位於ν與$\nu + d\nu$間的彈性波的固有振動數$Z(\nu)d\nu$求出，從下式

$$E = \int_0^{\nu_m} \frac{h\nu}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1} Z(\nu)d\nu \qquad (1)$$

可得該系之總振動能E。

為求$Z(\nu)d\nu$，德拜將固體視為連續體，於是在每邊長L的結晶內以速度c傳遞的彈性波，其頻率在ν與$\nu + d\nu$間之固有振動數為

$$\frac{4\pi L^3}{c^3}\nu^2 d\nu$$

若從彈性力學立場解系統的運動方程式，由解該方程式可得兩個波速c_t及c_l。根據波速公式得知c_t為橫波速度，而c_l為縱波速度。於是固體中之彈性波有橫波及縱波式的二種波，而分別以速度c_t、c_l傳遞。又因橫波由偏向於二直交平面內之二波形成，故頻率在ν與$\nu + d\nu$間之彈性波的固有振動數$Z(\nu)d\nu$，對由同一種原子組成的固體言，實際為

$$Z(\nu)d\nu = 4\pi L^3\left(\frac{1}{c_l^3} + \frac{2}{c_t^3}\right)\nu^2 d\nu \qquad (2)$$

茲設構成固體的原子數為N，其總自由度數等於$3N$，故此系之固有振動總數為$3N$，於是ν_m可依據下式：

$$\int_0^{\nu_m} Z(\nu)d\nu = 3N \qquad (3)$$

或

$$\int_0^{\nu_m} 4\pi L^3\left(\frac{1}{c_l^3} + \frac{2}{c_t^3}\right)\nu^2 d\nu$$

$$= \frac{4\pi}{3}L^3\left(\frac{1}{c_l^3} + \frac{2}{c_t^3}\right)\nu_m^3 = 3N$$

推定之。由(3)式得

$$\nu_m{}^3 = \frac{9N}{4\pi L^3}\left(\frac{1}{c_l{}^3}+\frac{2}{c_t{}^3}\right)^{-1} \quad (4)$$

因（4）式，（3）式可改寫作

$$Z(\nu)\,d\nu = \frac{9N}{\nu_m{}^3}\,\nu^2 d\nu$$

若將此式代入（1）式，則總振動能量E

$$E = \frac{9N}{\nu_m{}^3}\int_0^{\nu_m}\frac{h\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}\,d\nu$$

定容熱容量C_v

$$C_v = \frac{dE}{dt} = \frac{9N}{\nu_m{}^3}\int_0^{\nu_m}\frac{d}{dT}\left[\frac{h\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}\right]d\nu$$

$$= \frac{9N}{\nu_m{}^3}\int_0^{\nu_m}\frac{h\nu^3\,exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)\frac{h\nu}{kT^2}}{\left[exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1\right]}\,d\nu$$

施行部分積分，即

$$C_v = \frac{9Nh}{\nu_m{}^3 T}\left[\int_0^{\nu_m}\frac{4\nu^3}{exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right)-1}\,d\nu - \frac{\nu_m{}^4}{exp\left(\frac{h\nu_m}{kT}\right)-1}\right]$$

令 $\frac{h\nu}{kT} = x$ 及 $\frac{h\nu_m}{k} = \Theta_D$

又由$R = Nk$，但R爲氣體常數，故得

$$C_v = 9R\left[4\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\int_0^{\Theta_D/T}\frac{x^3}{e^x-1}\,dx - \frac{\frac{\Theta_D}{T}}{exp\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)-1}\right]$$

或 $$C_v = 3R\left[\,12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\int_0^{\Theta_D/T}\frac{x^3}{e^x-1}\,dx-\frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{\exp\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)-1}\right] \quad (5)$$

1. 在低溫之情況

$$C_v = 3R\left[\,12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\int_0^{\Theta_D/T}\frac{x^3 e^{-x}}{1-e^{-x}}\,dx-\frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{\exp\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)-1}\right]$$

$$= 3R\left[\,12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\int_0^{\Theta_D/T}x^3 e^{-x}\left(1+e^{-x}+e^{-2x}+\cdots\right)dx-\frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{\exp\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)-1}\right]$$

$$= 3R\left[\,12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\sum_{n=1}^{n=\infty}\int_0^{\Theta_D/T}x^3 e^{-nx}\,dx-\frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{\exp\left(\Theta_D/T\right)-1}\right]$$

上記之積分可取自 0 至 ∞ 及自 ∞ 至 $\frac{\Theta_D}{T}$ 之積分和，即

$$C_v = 3R\left\{\,12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\sum_{n=1}^{n=\infty}\left[\int_0^{\infty}x^3 e^{-nx}\,dx\right.\right.$$

$$-\int_{\Theta_D/T}^{\infty} x^3 e^{-nx}\, dx \,] - \frac{3\dfrac{\Theta_D}{T}}{exp(\Theta_D/T)-1}\} \qquad (6)$$

令 $nx = y$，求（6）式中之積分如次：

$$\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = \frac{1}{n^4}\int_0^\infty y^3 e^{-y} dy = -\frac{1}{n^4}\int_0^\infty y^3 d(e^{-y})$$

$$= -\frac{1}{n^4}[\, y^3 e^{-y}\,]_0^\infty + \frac{3}{n^4}\int_0^\infty y^2 e^{-y} dy$$

如此繼續積分，最後可得

$$\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = \frac{1}{n^4}[\, y^3 e^{-y}\,]_0^\infty - \frac{3}{n^4}[\, y^2 e^{-y}\,]_0^\infty$$

$$-\frac{6}{n^4}[\, ye^{-y}\,]_0^\infty - \frac{6}{n^4}[\, e^{-y}\,]_0^\infty \qquad (7)$$

此式右側之前三項均爲零，僅最後一項不爲零而爲 $\frac{6}{n^4}$，故

$$\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = \frac{6}{n^4}$$

代入下式

$$\sum_{n=1}^{n=\infty}\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = 6\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{n^4}$$

然因

$$\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{1}{n^4} = \frac{1}{1^4}+\frac{1}{2^4}+\frac{1}{3^4}+\frac{1}{4^4}+\cdots\cdots = \frac{\pi^4}{90}$$

故

$$\sum_{n=1}^{n=\infty}\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = \frac{6}{90}\pi^4 = \frac{1}{15}\pi^4$$

$$12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\sum_{n=1}^{n=\infty}\int_0^\infty x^3 e^{-nx} dx = 12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3\frac{\pi^4}{15} = \frac{4\pi^4}{5}\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3$$

再將（7）式中之 y 換爲 nx，則

$$\int_{\Theta_D/T}^{\infty} x^3 e^{-nx}\, dx = -\frac{1}{n^4}\left[(nx)^3 e^{-nx} + 3(nx)^2 e^{-nx} + 6(nx) e^{-nx} + 6 e^{-nx} \right]_{\Theta_D/T}^{\infty}$$

$$= \frac{e^{-nx}}{n^4}\left[n^3\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^3 + 3n^2\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^2 + 6n\left(\frac{\Theta_D}{T}\right) + 6 \right]$$

$$-12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \sum_{n=1}^{n=\infty} \int_{\Theta_D/T}^{\infty} x^3 e^{-nx}\, dx$$

$$= -12\frac{\Theta_D}{T} \sum_{n=1}^{n=\infty} e^{-n\frac{\Theta_D}{T}} \left\{ \frac{1}{n\frac{\Theta_D}{T}} + \frac{3}{n^2\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^2} + \frac{6}{n^3\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^3} + \frac{6}{n^4\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^4} \right\} \qquad (8)$$

將（7）及（8）二式一併代入（6）式中，則得

$$C_v = 3R\left\{ \frac{4\pi^4}{5}\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 - \frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{exp(\Theta_D/T)-1} - 12\frac{\Theta_D}{T}\sum_{n=1}^{n=\infty} exp\left(-n\frac{\Theta_D}{T}\right)\cdot\left[\frac{1}{n\frac{\Theta_D}{T}} + \frac{3}{n^2\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^2} + \frac{6}{n^3\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^3} + \frac{6}{n^4\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^4} \right] \right\}$$

此稱爲德拜比熱公式，Θ_D 稱爲德拜特性溫度（*Debye characteristic temperature*）。

2. 在極低溫之情況：由於

$$\frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{exp\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)-1} \leqq 3\ \frac{\Theta_D}{T} exp\left(-\frac{\Theta_D}{T}\right)$$

及以下各項均爲極小可略而不計，故

$$C_v = \frac{12}{5}\ \frac{\pi^4 R}{\Theta_D{}^3} T^3$$

即在極低溫範圍，其定容熱容量 C_v 與 T^3 成正比，此爲德拜 T^3 定律（*Debye T^3 law*）。此定律後經奧衣肯（*Eucken*）、史懷斯（*Schwers*）、西蒙（*Simon*）加以實驗的驗證，而認爲此定律所示之值，確與實驗值相符。

3. 在高溫之情況因 $\frac{\Theta_D}{T}$ 及 $x = \frac{h\nu}{kT}$ 均爲甚小之值，故由（５）式得

$$C_v = 3R\left[\ 12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \int_0^{\Theta_D/T} \frac{x^3}{x} dx - \frac{3\frac{\Theta_D}{T}}{\frac{\Theta_D}{T}}\right]$$

$$= 3R\left[\ 12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \int_0^{\Theta_D/T} x^2 dx - 3\right]$$

$$= 3R\left[\ 12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \frac{\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)^3}{3} - 3\right]$$

$$= 3R$$

此即杜隆、泊替定律（*Dulong-Petit's law*）。

【德拜近似法】（Debye approximation）

其內容主要有二：

1. 在計算晶格熱容量時，假設固體內部的聲子波動向量 k 及其角頻率 ω 爲正比關係，即

$$\omega = v k$$

2. 將布里元區（*Brillouin zone*）的體積以等體積的球體代替。

在第一個假設中將固體視為連續的結構；而第二個假設相當於假定頻率的分佈有一最大值。

【德拜長度】（Debye length）

通常德拜遮蔽距離或離子體是描述一個正離子的電場所能影響到電子的最遠距離。德拜曾指出，正離子與電子間的吸力原可持續到非常遠。但由於間有其它的正負電荷，實際上在臨界間隔外吸力消失，離子體在密度增加時，此臨界間隔卽德拜長度隨之而減小。德拜長度在物理上的重要性遠大於以上所述，因其與邊界附近的鞘層厚度有關，且與離子體中靜電位顯著改變的距離有關。

【德拜溫度】（Debye temperature）

對於固體的比熱，愛因斯坦忽略了原子間的交互作用（*interaction*），而假定 $3N$ 個簡諧振盪器都具有相等的頻率，因此所得的結果，在低溫時與實驗不符。德拜有鑑於此，就作了一些假定與修正。

1. 在晶體中，任何可能的振動，其波長都遠大於原子之間的距離，因此結晶可以被認為是連續體，而不必是個別原子。

2. $3N$ 個簡諧振盪器的振盪形態中，任一組可能的振盪形態所構成的狀態，稱為振動方式（*vibration modes*），如果頻率是連續函數，則振動方式的分配，與頻率的平方成比例。換言之，振盪器的頻率並不完全相等。

3. 截止頻率（*cut-off frequency*）——頻率既然是連續的，則必有一截止頻率 ν_D，因此全部的振動方式等於 $3N$。

因此德拜的模型，把晶體的振動方式整體處理；而愛因斯坦模型，則個別考慮原子的振動，彼此沒有相互作用。所以對振動方式的分配大

爲不同，如圖 15—21 所示。根據德拜的假設，頻率介於 ν 及 $\nu + d\nu$ 之間，振動方式的數目是

$$Z(\nu)\,d\nu = A\nu^2\,d\nu$$

A 爲一個常數，當然和晶體的體積以及其他因素有關，不過我們可以暫時不用管，先去求斷點頻率。

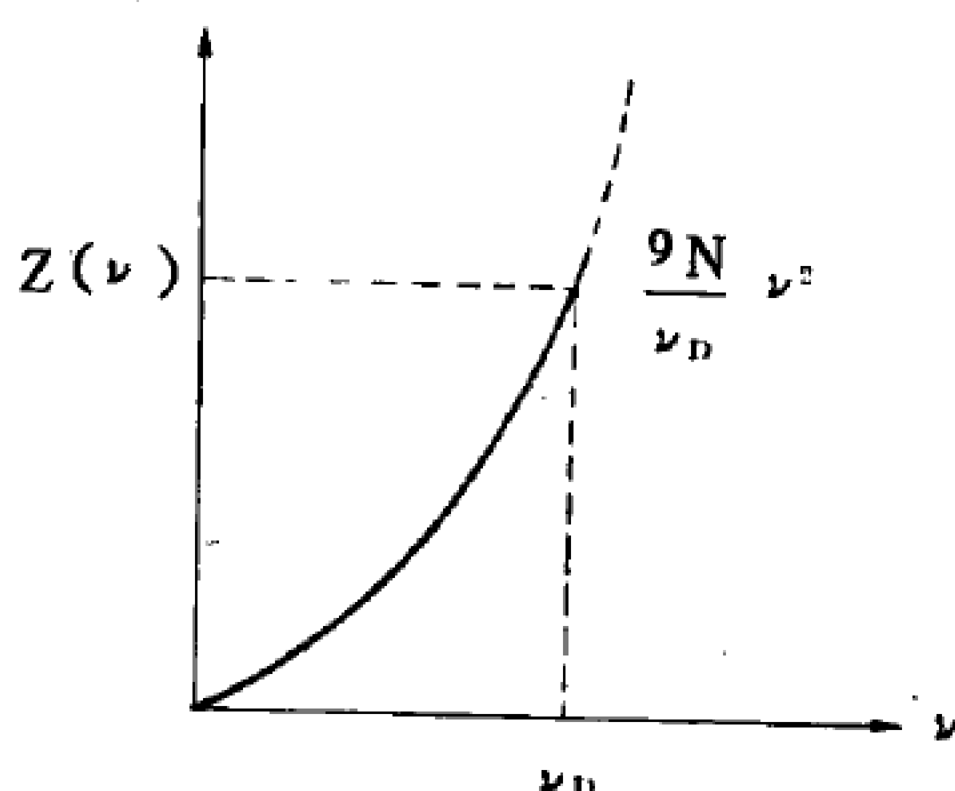


圖 15 — 21　德拜模型的頻率譜

由於振動方式的總數必須等於 3 N，故

$$3N = \int_0^{\nu_D} Z(\nu)\,d\nu = A\int_0^{\nu_D} \nu^2\,d\nu = A\frac{\nu_D{}^3}{3}$$

或

$$A = 9N\nu_D{}^{-3}$$

根據

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}$$

則因彈性體的全體能量爲

$$E = \int_0^{\nu_D} Z(\nu)\langle\varepsilon\rangle\,d\nu = \int_0^{\nu_D} Z(\nu)\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}\,d\nu$$

$$= \int_0^{\nu_D} \frac{9N}{\nu_D{}^3}\quad\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}\,d\nu$$

$$= 9N\left(\frac{kT}{h\nu_D}\right)^3 kT\int_0^{x_m}\frac{x^3\,dx}{e^x-1} \qquad (1)$$

式中 $x = h\nu/kT$，而 $x_m = h\nu_D/kT$。如果溫度很低時，$x_m\rightarrow\infty$，

而且

$$\int_0^{\infty}\frac{x^3\,dx}{e^x-1} = 6\sum_1^{\infty}\frac{1}{n^4} \qquad (2)$$

成爲一個常數，因此 $E\sim T^4$，也就是說在低溫情況下，固體之比熱 $C_v \sim T^3$ 與實驗之結果符合，如圖 15 — 22 所示。

就德拜的理論而言，(2)式的近似值，似乎在

$$x_m = \frac{h\nu_D}{kT} = \frac{k\theta_D}{kT} = \frac{\theta_D}{T} \geq 10$$

就能滿足數學上的要求；式中 $\theta_D = \frac{h\nu_D}{k}$ 稱爲該彈性體之德拜溫度（*Debye temperature*）爲一個常數，可由（1）式的結果與實驗比較而得。換言之，當溫度低於 $T \leq \frac{1}{10}\theta_D$ 時，（2）式的近似值就應

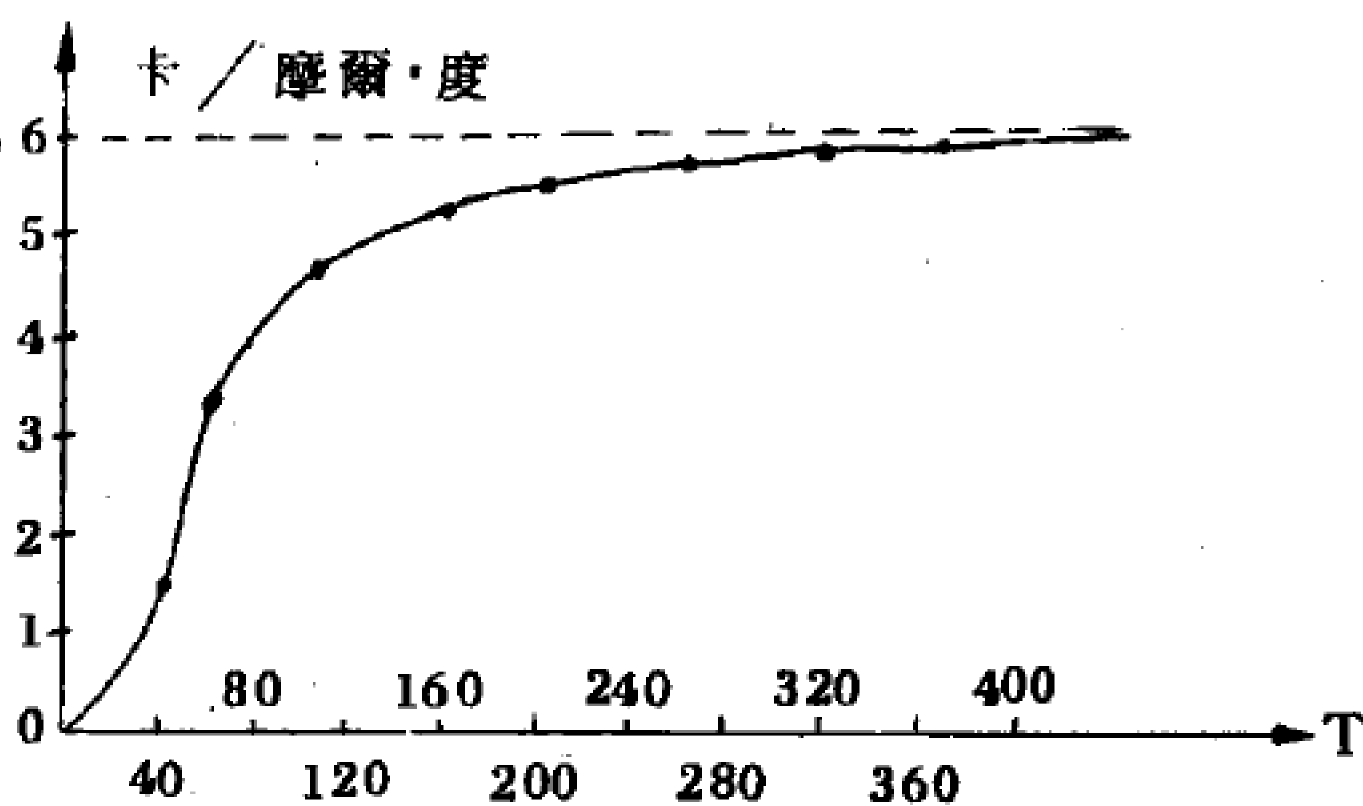


圖 1﹖— 22

銀的比熱（德拜理論與實驗之比較）

該很合理，然而根據進一步精密的分析，知固體的比熱 $C_v - T^3$ 的關係，至少要在 $T \leq \frac{1}{50}\theta_D$ 時，才能成立，也就是說，要在極低的溫度，德拜模型的結果才能符合實驗值，這個缺點，後來由波恩（*Born*）對德拜所做的截止頻率的假設，作合理的修正，而獲得圓滿的解決。

【德拜電雙極理論】（Debye dipole theory）

謂液體分子的電雙極特性可由數學式

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} = \frac{4\pi}{9} \frac{\mu^2 n}{kT}$$

其中 ϵ 是電容率，μ 是單雙極的強度，n 是液體數目的密度。

【德哈士、凡阿芬效應】（De Haas-Van Alphen effect）

在 1930 年，德哈士和凡阿芬發現在極低溫度時，純鉍（*Bi*）結晶體的磁化率（*magnetic susceptibility*）會隨磁場的改變而振盪，且隨磁場的倒數或週期變化。現在知道在大多數的金屬或合金，均有這種現象。而且德哈士、凡阿芬效應已經成爲量度金屬費米面（*Fermi*

surface ）最好的方法之一。

此現象的基本原理是1930年蘭道（*Landau*）所提出。在一自由電子系統內，電子運動平行於磁場，它的運動情形是古典的或連續的，垂直於磁場時，它的運動就成量子化。所以在金屬中的自由電子，如其運動垂直於磁場，由波爾、左末非（*Bohr-Sommerfeld*）量子化條件：

$$\oint \vec{p} \cdot d\vec{r} = (n + \gamma) h$$

式中 $\vec{p}$ 爲動量，γ 爲相位，n 是整數，可知電子運動軌跡在 K 空間中的面積量子化，即

$$A_R(n) = (n + \gamma) \frac{2\pi e H}{c\hbar}$$

設溫度接近絕對零度時，金屬中的電子（在費米自由電子氣狀態）在 K - 空間中，能量面成球形，電子充滿到費米能量面 E_F 爲止。

加一沿 Z 方向的磁場，這些球形面就變成沿 Z 方向一層層的圓柱體，這些圓柱體有大小不同的 $X-Y$ 截面依次排列，如圖 15—23 所示，第 n 個截面積的大小爲上述之 $A_R(n)$，每一圓柱體上都有許多電子態，當磁場增加，每一截面都變大，若某截面 $A_R'(n)$ 的大小超過最大費米面 A_0，則原來第 n 個圓柱體截面上的電子都跑到內層量子數較低的圓柱體截面上，在圖 15—23 上可以很清楚的看出這種變化。

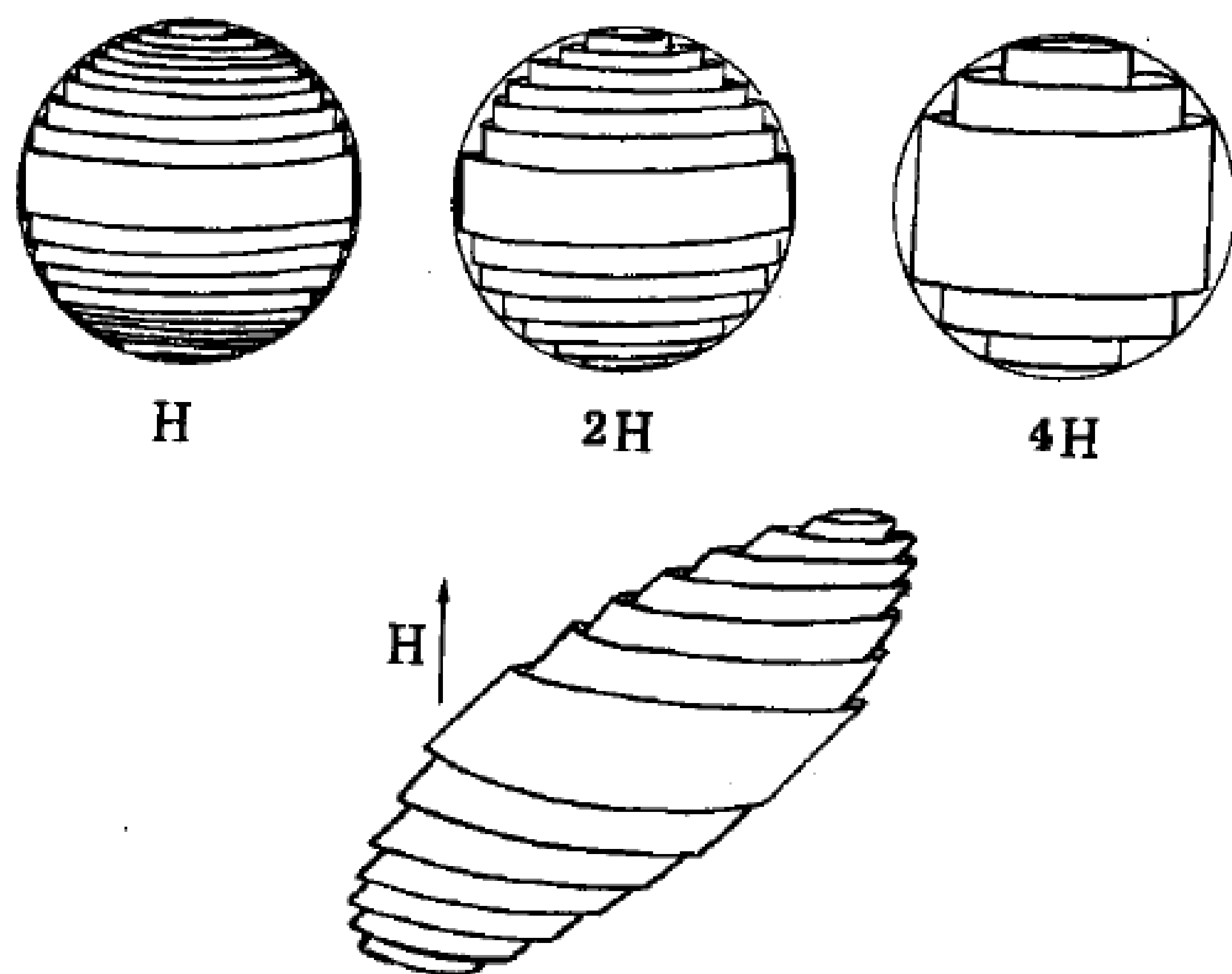


圖 15—23
圓和橢圓費米面在磁場中軌道量子化

整個系統的自由能 F 就成 $1/H$ 的函數，且隨著磁場的變化而振盪，週期爲

$$T = \Delta\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{c\hbar A_0}$$

這種情形可由圖15—24看出，因為F是$1/H$的週期函數，所以磁化率為　$\chi=-\frac{1}{H}\frac{\partial F}{\partial H}$

也是隨$1/H$而週期變化。

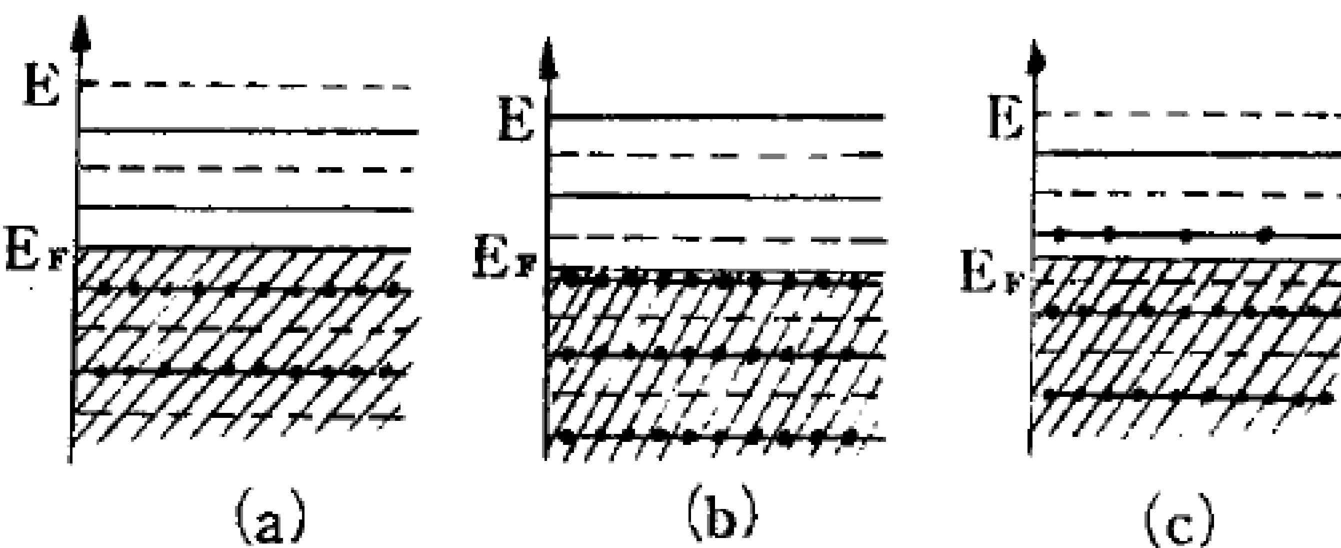


圖 15 — 24
量子軌道電子態隨磁場變化的情形，磁場由(a)→(c)圖逐漸增加

故由磁率χ隨$1/H$的週期變化，可求得金屬的費米極面A_0，再自不同方向加磁場於金屬上，可畫出費米面的形狀。

【德國銀】(German silver)

是一種合金線，由鎳(Ni)、鋅(Zn)、銅(Cu)熔成，其阻力比銅大許多倍。但電阻溫度係數特別小，常用在電阻箱內。

【德維生、革末實驗】(Davisson-Germer experiment)

在德維生(*C. Davisson*)與革末(*L. Germer*)實驗中，一束電子以一角度斜射於晶體面上，欲觀測被散射之電子，可藉置放一檢定器於如圖15—25所示之對稱位置上，此實驗類似布勒格

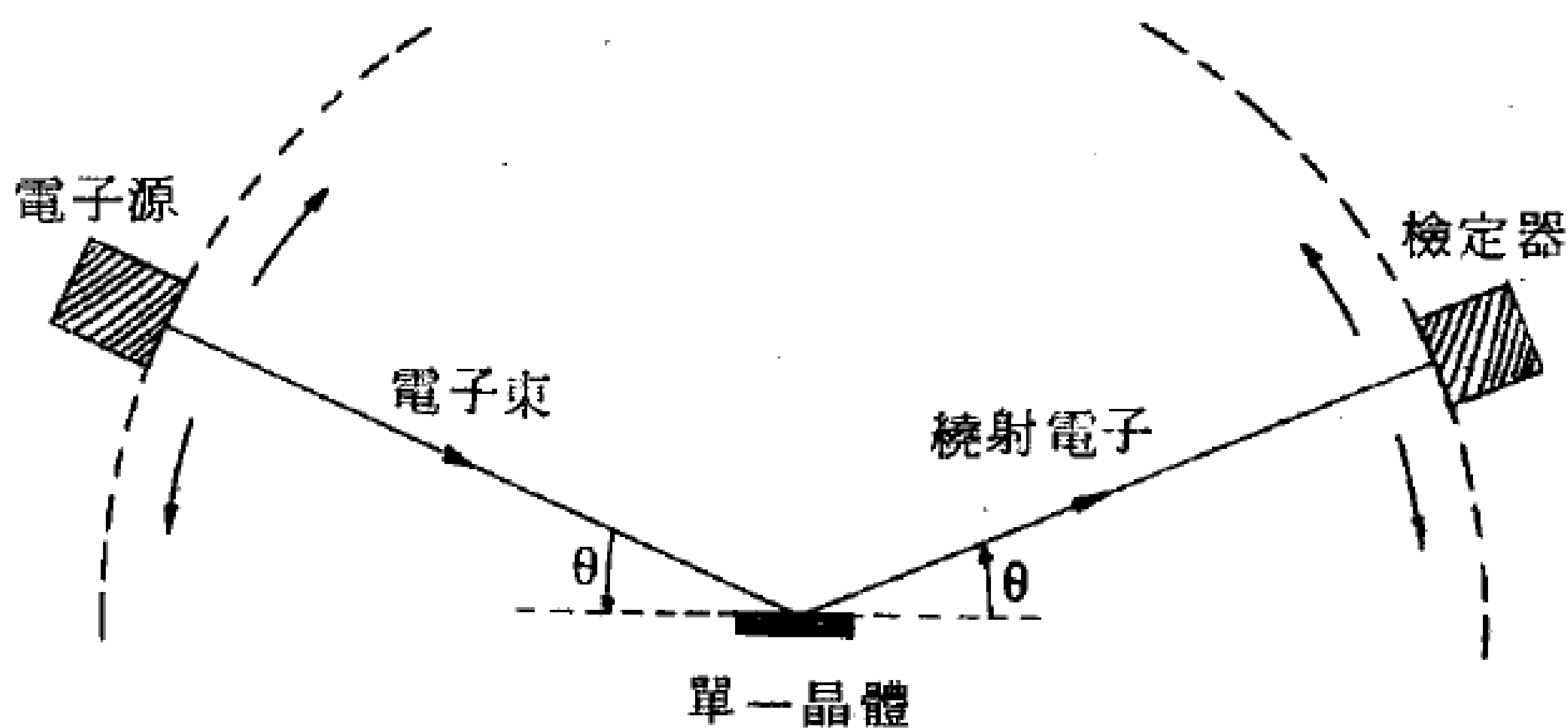


圖 15 — 25
德維生及革末觀察電子之布勒格散射裝置

(*Bragg*) 為觀察X射線散射所使用者。每當就X射線所導出之布勒格條件滿足時，發現由檢定器所記錄的電子流最大，布勒格條件由$n=a^2/\lambda r_0$

$$2\,d\,\sin\theta=n\,\lambda$$

所表示，式中之 d 爲晶體中相鄰原子層之間隔，而 λ 由 $\frac{h}{\sqrt{2m_e eV}}$ 所定。於是證實了波、粒二象性的存在。

以質子與中子實驗，曾觀測得同樣的布勒格散射現象，中子散射特別有用，蓋因它係研究晶體構造最有力的方法之一。實驗者利用單一能量之中子束，並分析它們通過晶體的情形，從核反應器射出後，通過窗孔（圖 15 — 26）之中子具有一廣泛的能量譜（換言之，諸中子在動量上的變化廣濶）或中子束係非單色者，它包含許多德布洛利波長所組成的譜線。當由反應器而來的中子束落在一晶體上時，譬如氟化鋰（*LiF*），僅在相應於由布勒格條件上式所定波長 λ 之對稱方向上能觀測到中子，因爲它們具有一定能量與動量，晶體充當一能量過濾器（*energy filter*）或單色器（*monochromator*）。單一能量之中子束，藉由繞射，可用來研究其他物質之構造，或分析牽涉中子的核反應。

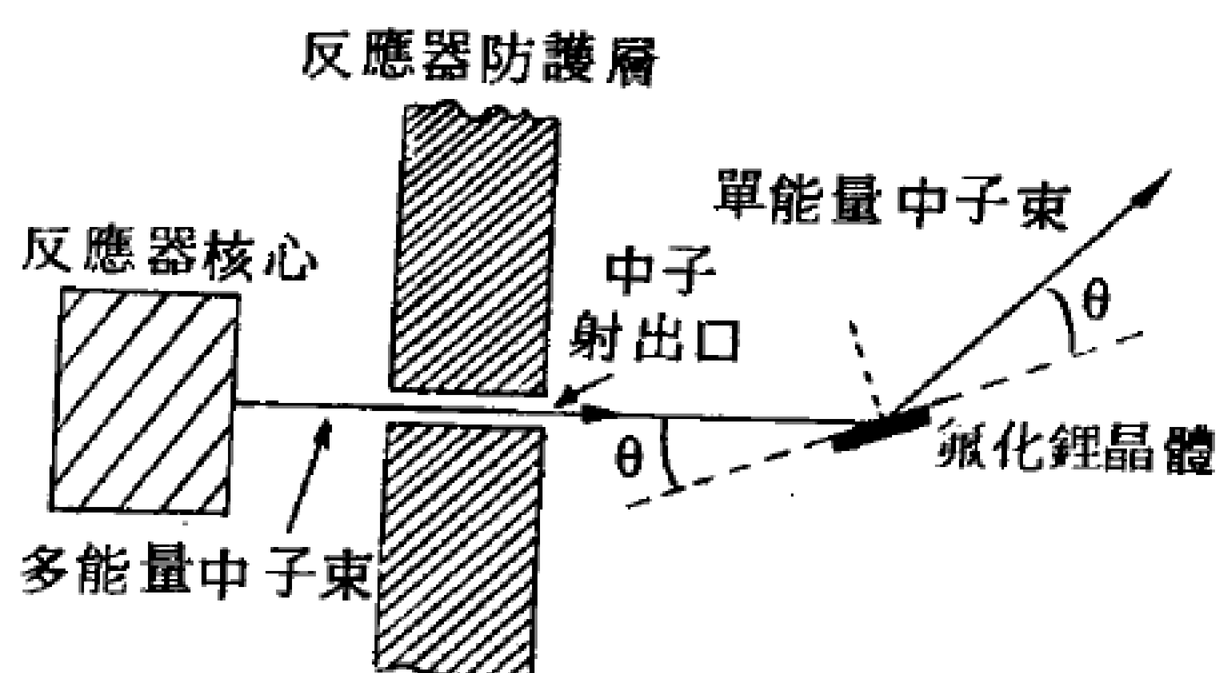


圖 15 — 26　中子晶體分光計

【德謨頡里圖】（Democritus 460？— 362？B.C.）

希臘哲學家，生於色雷斯（*Thrace*）的一個名叫阿布第刺的古鎮。他的知好都稱他爲含笑的哲學家。是最先倡言物質原子論的科學家。

【德謨頡里圖原子學說】（Democritus atomic theory）

原子的存在遠在人類的存在以前。最早認識原子的存在是在西元前四百多年古希臘時代，一位哲學家德謨頡里圖（*Democritus*）首先想到所有物質都是由極小而看不見的微粒構成的，這些微小而看不見的微粒，他稱爲原子（*atom*）。這個字是由希臘字（*atomos*）導出的，意爲不可分割的小東西。他對他的門徒們解釋原子學說時，手上抓一把泥土說：「如果我揑碎手中泥土，得到一些較小的土塊。後用手指摩

擦其中一小土塊，便得到微細的塵土。如果再繼續摩擦，則這些塵土變成一些粉末，這些粉末還可研成更細小的粉末，如此下去最後得到極細小的微粒，就是我所謂的原子。」他認為原子是由同樣的一種基本東西構成的，他未指出這基本東西是什麼，但相信這些基本東西構成許多不同種類的原子，其形狀、大小及重量各不相同，有的為光滑的小球，有的為尖邊的立方體及表面粗糙而形狀不規則者。這些各類原子聚集一起時，可結合成為固體、液體及氣體等。

【摩根方程式】(Morgan equation)

$$\gamma (Mv)^{\frac{2}{3}} = A + Bt + Ct^2$$

其中 γ 是表面張力，M 是分子重量， v 是在溫度 t 時的體積度。

【摩斯方程式】(Morse equation)

即莫司方程式，描述雙原子位能與原子核間距離之方程式

$$U(r) = D(1 - e^{-a(r - r_0)})^2$$

參閱“莫司位能 (*Morse potential*) ”條。

【摩爾分量比】(Mole fraction)

$$N_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + \cdots n_i + \cdots} = \frac{n_i}{n}$$

其中，N_i 是第 i 個組成物的摩爾分量比，n_i 是組成物 i 的摩爾數，n 是組成物的總摩爾數 。

【摩擦力】(Friction)

用一彈簧秤水平拉一木塊使其在水平桌面上等速滑動時，彈簧秤的讀數並不為零，即彈簧在沿木塊滑動的方向施一水平力於木塊上。現在木塊無加速度，根據牛頓第二定律，施於木塊的水平方向的合力必為零，故桌面必施一與運動方向相反的水平力於木塊上，我們稱這一阻力為木塊與桌面間的摩擦力。因為木塊與桌面有相對運動，因此，有時我們將這一阻力稱為動摩擦力。動摩擦力的方向是與物體的運動方向相反。

由實驗我們曉得，在某一限度內動摩擦力的大小約與兩物體接觸面間的垂直作用力成正比，而與兩物體的接觸面積無關，同時也大約與兩物體的相對速度無關。因此，如 f_k 爲動摩擦力，N爲接觸面間的垂直相互作用力，則

$$f_k = \mu_k N$$

μ_k 爲兩物體間的動摩擦係數。

如果將木塊靜置於水平桌面上，再用一彈簧枰沿水平方向拉它，我們將發現，要使木塊以極小的速度開始移動，彈簧枰須對木塊施某一大小的力以克服桌面與木塊間的摩擦力。若彈簧所施的力比此力小，木塊將不動，這一使木塊開始運動所需的最起碼的力，稱爲兩物體間的最大靜摩擦力。由實驗我們曉得，最大靜摩擦力也與接觸面間的垂直作用力成正比，其比例常數稱爲靜摩擦係數。靜摩擦係數與物體間的接觸面積無關，若以 f_s 代表靜摩擦力，則

$$f_s \leq \mu_s N$$

μ_s 爲靜摩擦係數，N爲兩物體間垂直作用力（即正向力）的大小。當 f_s 爲最大靜摩擦力時方用等號。由實驗的結果知道，靜摩擦係數大於動摩擦係數；當兩物體的相對速度很小時，動摩擦係數隨速度的增大而變小，速度大於某一數值時，動摩擦係數又與速度無關。動摩擦係數與相對速度的關係大致如圖 15 — 27。

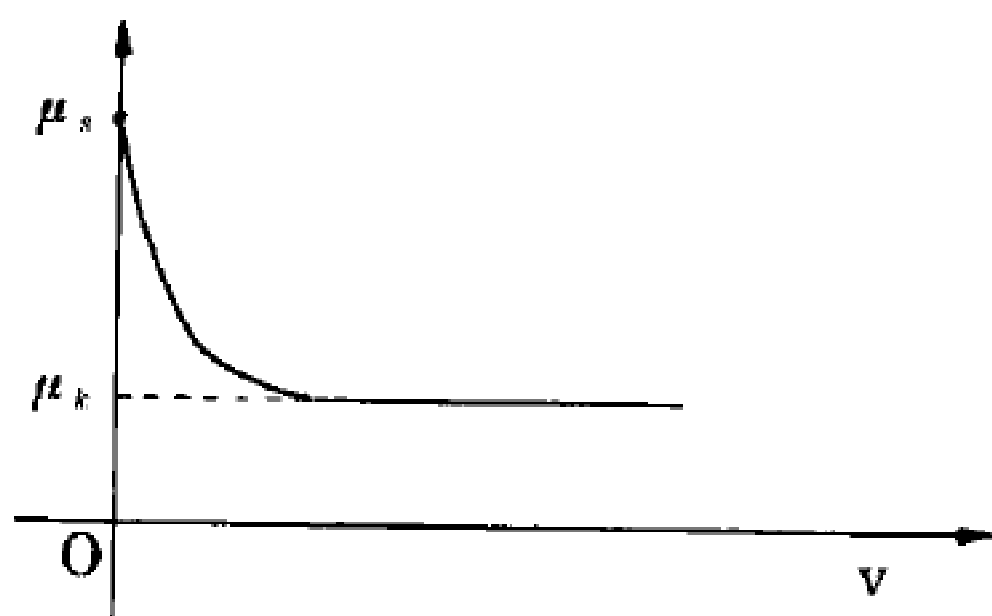


圖 15 — 27　摩擦係數與速度之關係

以原子的尺度而言，兩物體的接觸面都是高低不平的。因此，將一物體拉動時，我們須將接觸點的分子稍微拉開（或壓縮）；這是兩接觸面間有摩擦力存在的原因。當然摩擦力並不是基本力，它與接觸面的性質有關，也與分子力有關。

靜摩擦與動摩擦又合稱爲滑動摩擦（ *sliding friction* ）。接觸面對運動體的法線反作用力N'，與摩擦力 f 的合力設爲R，則R與N'

之夾角為最大靜摩擦時的值 ϕ，通稱為摩擦角（*angle of friction*）。而摩擦角之正切值即為靜摩擦係數。

當一物體在另一物體上滾動時，由於一物體或兩物體在接觸部分產生變形，於是呈現阻力，稱為滾動摩擦（*rolling friction*）。

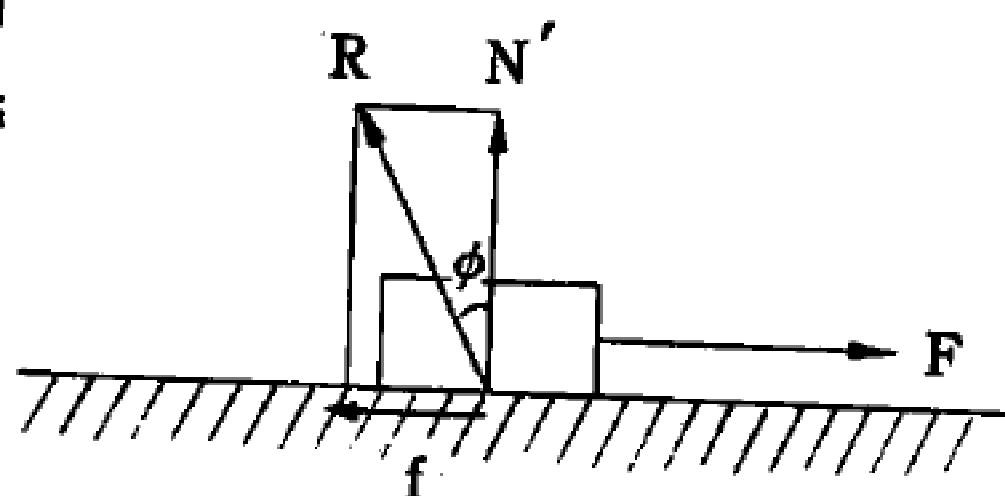


圖 15 — 28

【摩擦之定律】（Law of friction）

兩接觸面間之最大摩擦阻力，係與兩面之正壓力成正比，與接觸之面積大小無關係，此稱為摩擦之定律。

【摩擦阻力之定律】（Law of frictional force）

1. 兩接觸面靜止時，其摩擦阻力常較大於二者互相運動時之摩擦力。

2. 如兩面之壓力非過大者，則靜止與運動的摩擦阻力之大小各與緊壓兩接觸面之總正壓力（*total normal pressure*）成正比。假令 F 表摩擦阻力，P 表兩接觸面之正壓力，則

$$F = \mu P$$

此中之 μ 名為摩擦係數（*coefficient of friction*）。

3. 如速度非過大，則運動之摩擦係數與運動之速度無關。

4. 靜止的摩擦阻力視兩接觸面接觸時間之久暫而增減。如兩面接觸太久，則輕敲之，即可減少其間之摩擦阻力。

【摩擦係數】（Coefficient of friction）

假設 F 是最大摩擦阻力，N 是正壓力。那麼公式：$F = fN$ 式裏的 f，就叫做摩擦係數，隨著各種物質而不同。

通常有兩種摩擦係數：靜摩擦係數 f_s 乘以垂直壓力表示使物體從接觸面上由靜止開始運動所需之最小力；動摩擦係數 f_k 乘以垂直壓力

表示保持二物體作相對等速運動所需之力。由實驗獲知凡經實驗的所有物質，其 f_s 均大於其 f_k 。下表爲幾種物質的 f_s 與 f_k 之值。

摩擦係數（所有表面都是乾燥的）

物　　質	f_s	f_k
鋼對鋼（硬鋼）	0.78	0.42
鋼對鋼（軟鋼）	0.74	0.57
鉛對鋼（軟鋼）	0.95	0.95
銅對鋼（軟鋼）	0.53	0.36
鎳對鎳	1.10	0.53
鑄鐵對鑄鐵	1.10	0.15
聚四氟乙烯對聚四氟乙烯（或對鋼）	0.04	0.04

【摩擦起電】（ Electrification by friction ）

由兩異類物體互相作密切的接觸（摩擦）以騷擾對方電子，使失平衡（中和）而起電的過程。由摩擦所發生的電叫摩擦電（ *frictional electricity* ）爲靜電。

兩物體互相摩擦後，能吸引輕質的物，如塑膠用毛皮摩擦後，會吸引紙屑，這種現象稱爲帶電。帶電的物體稱爲帶電體。從前科學家公認電有二種：玻璃棒因絲絹摩擦所帶的電，稱爲正電或陽電；火漆棒用貓皮摩擦所帶的電，稱爲負電或陰電。正電用“＋”表示，負電用“－”表示。同種的電互相排斥，異種的電互相吸引。現時已知物體帶電，乃由電子而起，物體電子不足時帶正電；電子過剩時帶負電。但是通常討論，仍用正電負電二詞。

二物體相摩擦，其一帶正電，另一必帶負電。一物質經摩擦後所帶之電性並無一定，而與伴其摩擦之另一物質有關。物體摩擦時，一邊物體的電子即向另一邊移動。例如用毛皮摩擦硬橡膠棒時，毛皮的一部分電子即移向硬橡膠棒，所以硬橡膠棒即帶負電，毛皮則帶正電（如圖

15 — 29 ）。在不同物體之間有電子的交換，即一個物體上帶正電，而另一物體上帶負電，兩物體所帶電有正、負符號的相異而其電量則相同。

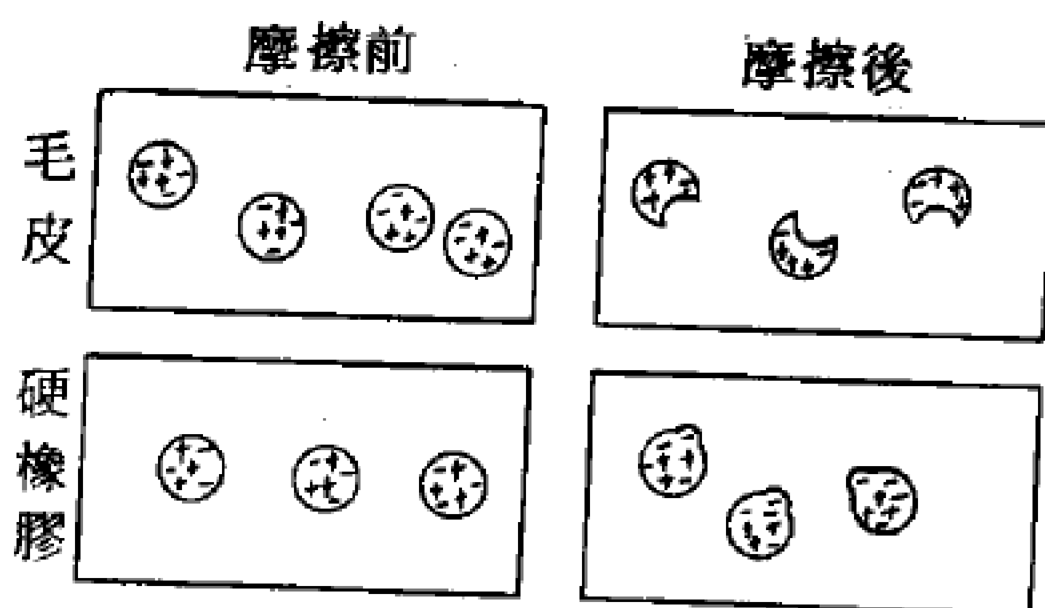


圖 15 — 29　摩擦使帶正負電的情形

由摩擦所生的電沒多大用處，可是卻非常危險。如用汽油擦洗絲質衣服或絲質領帶，就很容易生電，電火會引起汽油爆燒。另外汽油運輸車車尾常有一條鐵鏈在路面上拖曳，即因恐汽油在車上的汽油罐裏，推來蕩去地摩擦，會產生自由電子。利用鏈條可以把這些自由電子傳到地下，若是沒有鏈條來導引這些電子，一個火花，這部運油車就會爆炸。

【摩擦熱】（ Frictional heat ）

物體摩擦時，表面溫度上升。因表面的摩擦（ 功 ）將使物體表面分子運動活潑，因使內部能量增加而發熱。由摩擦所生之熱稱爲摩擦熱。

【摩擦雜音】（ Scratch noise ）

指拾音器的唱針與唱片摩擦所產生的雜音。

【摩擦雜音濾波器】（ Scratch filter ）

是一個低通濾波器，加入拾音電路中，抑制唱針的摩擦雜音。

【撞擊參數】（ Impact parameter ）

有心力場中，粒子射入此場時，此粒子正對場源發射的直線（ AB ），至入射時的入射方向之間的距離稱爲撞擊參數。以 b 表示（ 如圖 15 — 30 ）。

撞擊參數與散射時的角度有很大的關係。在古典力學中，考究庫倫（ *Coulomb* ）電位 V

$$V = \frac{Ze^2}{r}$$

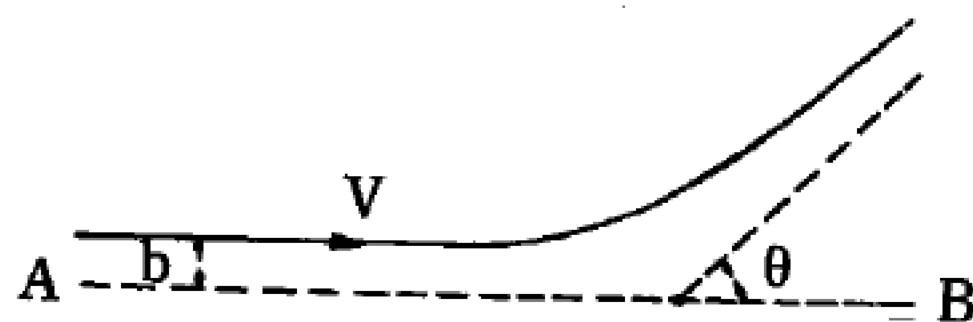


圖 15 — 30

則撞擊參數爲

$$b = |a| \cot\frac{\theta}{2} \qquad a = \frac{1}{2}\frac{Ze^2}{E}$$

式中 θ 爲散射角。由此可求得拉塞福散射（*Rutherford scattering*）公式爲

$$d\sigma = b\,db\,d\phi = \frac{a^2}{4\sin^4\frac{\theta}{2}}\,d\Omega$$

【數元】（**Bit**）

電子計算機中，一個二進制的數（*a binary digit*），爲1或0，係用以組成二進位的數字者。

參閱“二進位數系（*Binary number system*）”條。

【數字計算機】（**Digital computer**）

所有數字計算機都有五部門，首先爲輸入單位（*input unit*），此單位將輸入的人爲資料（*information*）和處理這些資料的指令（*instruction*）融會在一起，記錄在打孔卡和打孔帶（*punched tapes*）上，而後送入第二部門記憶單位(*memory unit*)，以等待計算機的監工，控制單位（*control unit*）所發出召喚的訊號。控制單位除了要確知資料已送入正確的位置，同時，亦要確知第四主要部門即算術單位（*arithmetic unit*）在從事正確的計算。最後，計算完畢，輸出單位（*output unit*）就將計算機的信號再轉變成我們能閱讀的記錄。圖

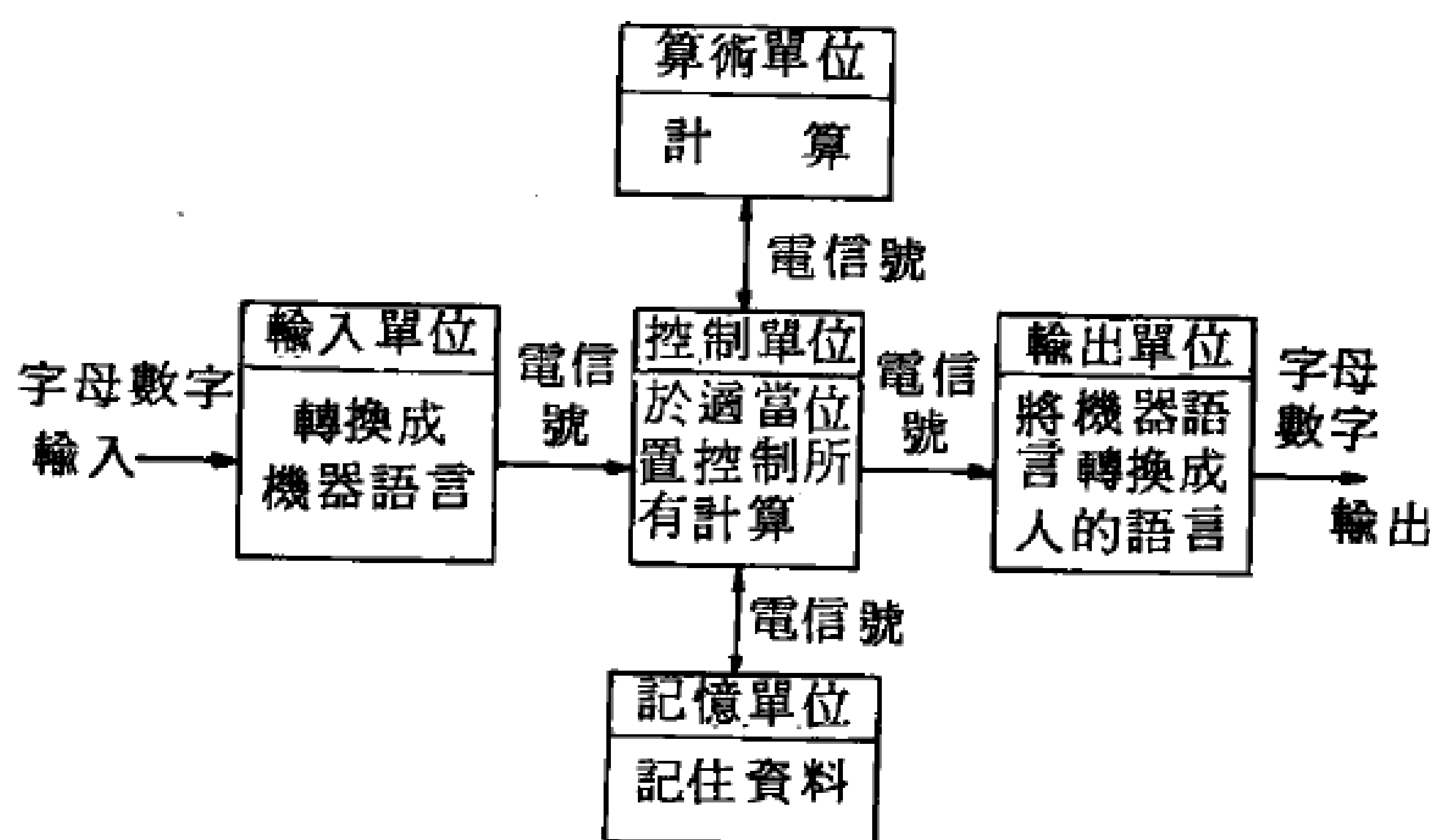
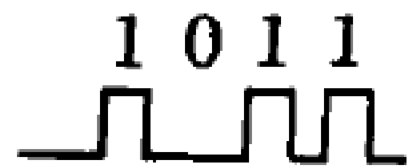


圖 15 — 31　計算機簡圖

15 — 31 示計算機簡圖。

就效率而言，聯絡電子數字計算機的這五個單位，彼此之間，必須能很迅速的以相同的語言“脈波”(*pulse of electricity*) 交談。脈波傳遞信號的速率近乎光速。在二進制 (*binary*) 語言系統中，脈波載荷著數字和符號。有脈波就代表 1 ，沒有脈波就代表 0 ，例如：



或 1011 (二進制) = 11 (十進制)

字母、標點和數學符號，也都能譯成相似的脈波列 (*pulse train*) 。

數字計算機在量的代表上不屬於連續，它乃引由二基本符號 0 和 1 代表一切資料訊號，其運用包括邏輯運用及數字運用，邏輯運用係指比較、選擇、尋找、對配、合併、轉移及決定等，數字運用係指加、減、乘、除、開方、指數運算等，此種計算機速度快，計算精確，最適宜於科學及商業上用途。

【數值口徑】(Numerical aperture)

顯微鏡之鑑別率或結構 - 差示率 (*structure-differentiating power*) 與放大率沒有多大關係，而與物鏡之數值口徑 (簡稱 *N.A.*) 十分密切。

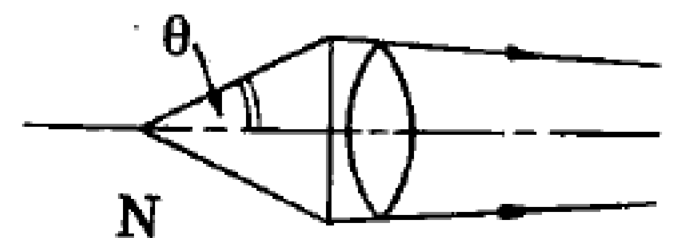


圖 15 — 32

數值口徑爲一光學常數，端視由物標之一點能達到透鏡的光之最大錐體的頂角而定。其定義爲等於此透鏡外介質之折光率 N 及由物鏡所得光錐體頂角之半的正弦之積

$$N.A. = N\sin\theta$$

參見圖15 — 32 。

【數個同步波源之干涉】(Interference of several synchronous sources)

數個同步且同一之波源，其波源線型排列如圖 15—33 所示。假定

我們係在較波源間之間隔甚大之一遠距離處，觀測合成波動，因此效果上這些干涉射線可視爲平行，兩相繼射線間，有一變相差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\, a\ \sin\theta$$

欲求由角度 θ 所定之觀察方向上的合成振幅，必須計算每一波源之有關旋轉向量之向量和。若所有波源均同樣，它們旋轉向量均具同一長度 A_1，諸相繼二向量間偏差同一角處 δ，如在圖 15—34(*a*)中所指出者。當所有的旋轉向量同一直線時，出現最大合成振幅，此一事實甚爲明顯，一如圖 15—34(*b*)所示者，欲各向量同一直線，則必須 $\delta = 2n\pi$ 或 $a\sin\theta = n\lambda$　　(1)

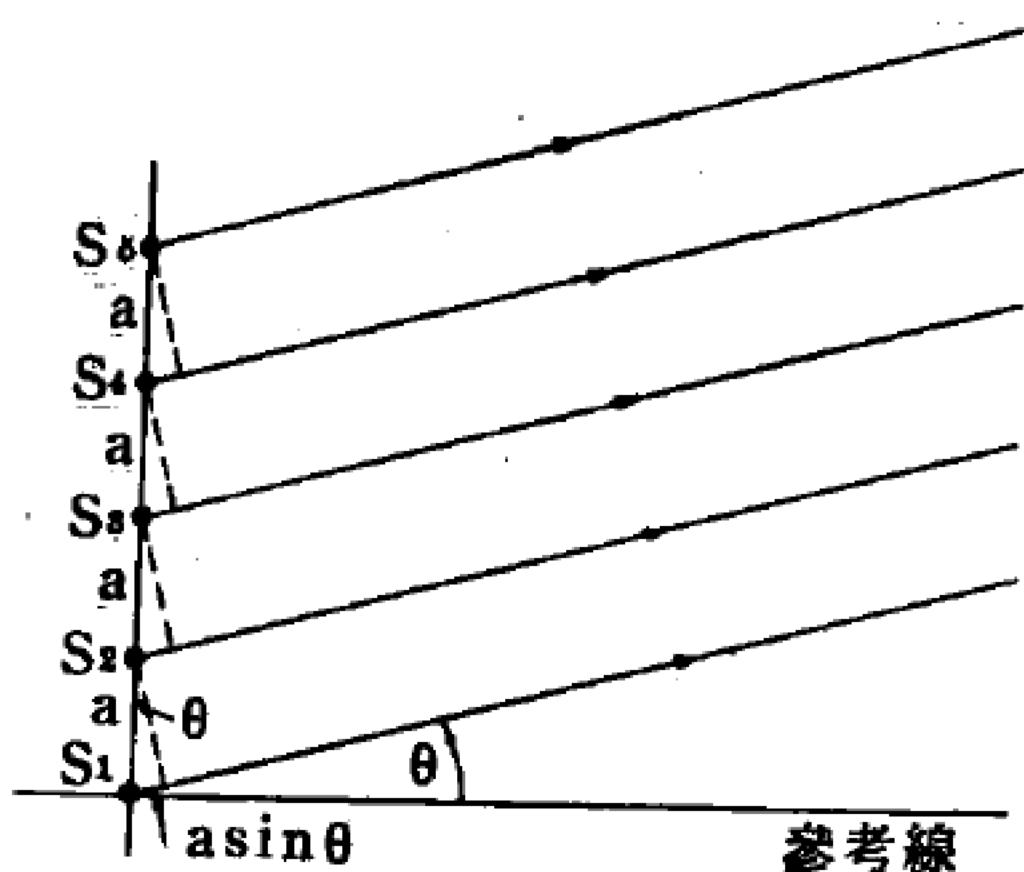
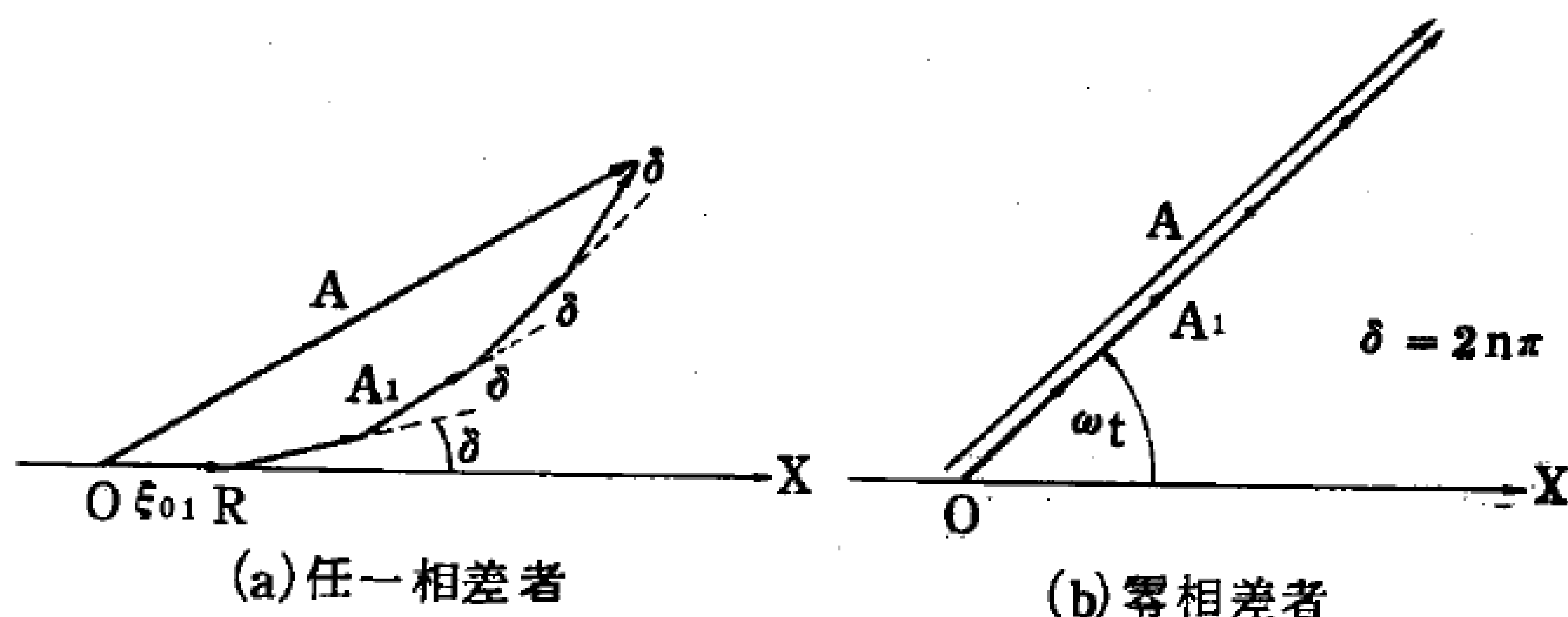


圖 15 — 33
五個等間隔一致性光源之線型排列



(a)任一相差者　　(b)零相差者

圖 15 — 34
五個等間隔線型序列的一致性波源所產生之波，由於諸波之干涉在任意一點的合成振幅

式中 n 爲正或負整數，此結果甚易明瞭，蓋因(1)式能成立時，由任何兩相毗連波源而來之射線同相，且藉加強而干涉，在此情況下之合成振幅爲 $A = NA_1$，式中 N 爲波源數，因而總強度爲 $I = N^2 I_1$，若波源數大，總強度則更大。

當圖 15—35 中之多邊形爲封閉者，強度則爲零，這需

$$N\delta = 2n'\pi \quad \text{或} \quad a\ \sin\theta = \frac{n'\lambda}{N} \qquad (2)$$

式中n'係從1至（$N-1$），從（$N+1$）至（$2N-1$）…等等，因$n'=0$，N，$2N$……須除外，如此則（2）式變為（1）式。$N=4$的情形已在圖15—35中示出。

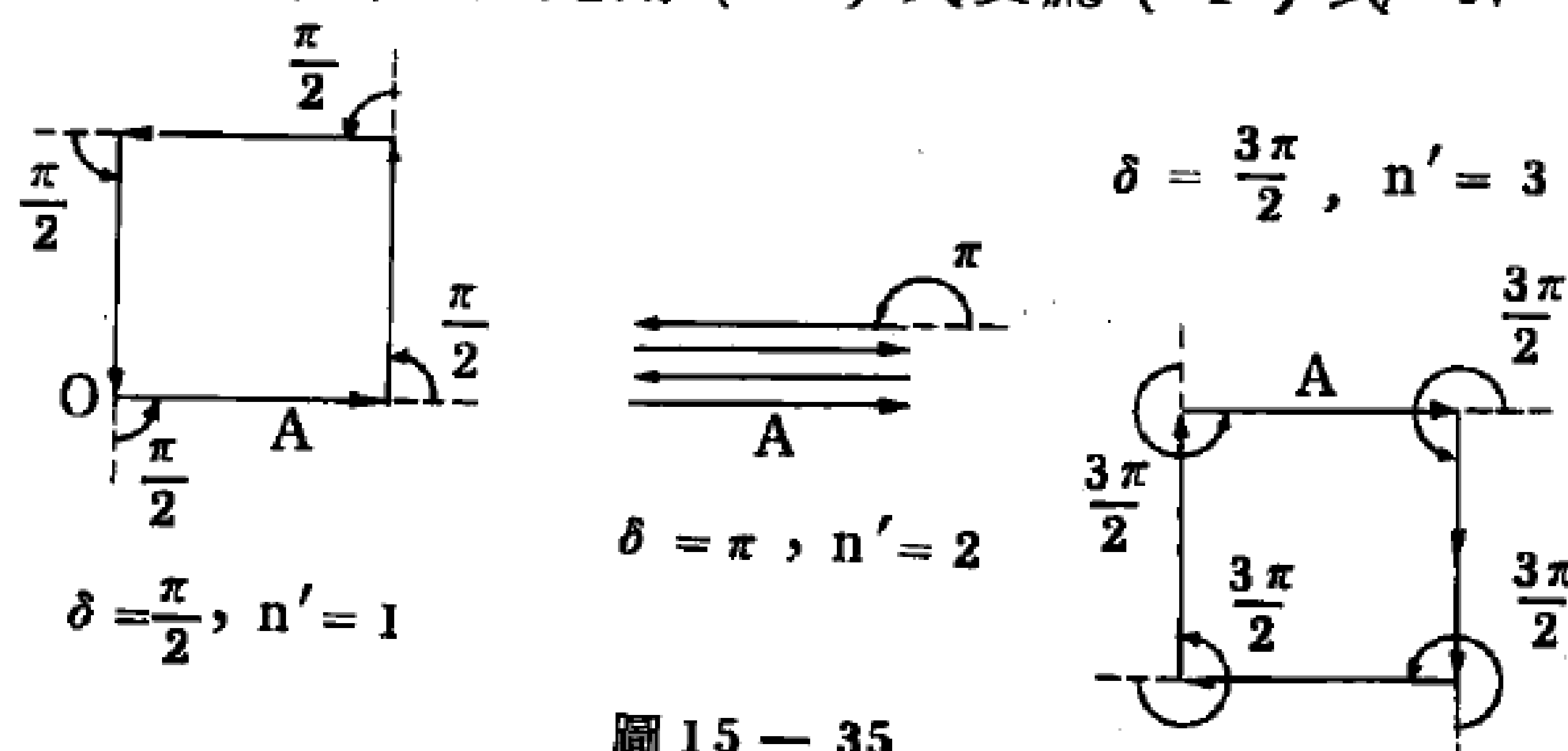


圖15—35
四個同步波源之合成振幅為零的情形

（2）式暗示著，在由（1）式所定的每兩主要極大間，具有（$N-1$）個零，兩極小之間必常有一極大，因此由（1）式所定之兩主要極大間，另有（$N-2$）額外極大；然而這些額外極大之振幅較之主要極大甚小，尤其是N增大時。

對於$N=4$、8以及甚大時，以$a\sin\theta/\lambda$表示的I/I_0之圖形在圖15—36中示出，為比較起見，$N=2$的情況一併加入，由圖看出，當增大N時，波源系統成高度方向性，蓋只於δ值之狹小幅度或角度θ值之狹小幅度時，方見合成波動之重要。

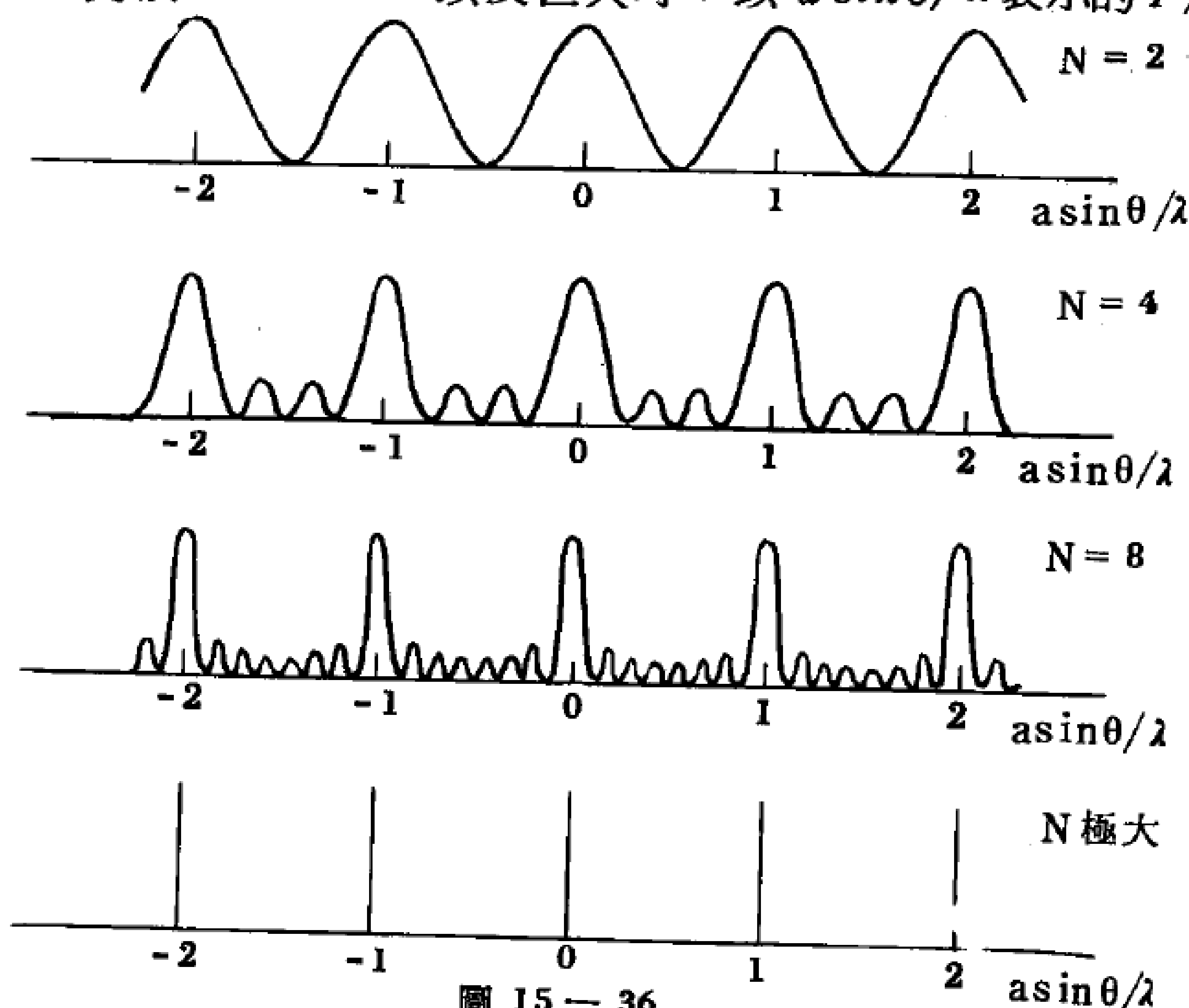


圖15—36
二、四、八個以及甚多個波源之干涉圖案的強度圖(波源間隔不變)

當廣播站及接收站方面需要方向效應時，廣泛地使用這些結果。欲得方向效應，可將數個天線排列成一形狀，使射出（接收）之輻射強度僅於（1）式所予之某一定方向上爲極大。譬如就相隔爲 $a = \lambda/2$ 的四個線型天線言，（1）式卽表 $\sin\theta = 2n$。因此，對於主要極大，僅 $n = 0$ 爲唯一可能之值，當 $n = 0$ 時，則 $\theta = 0$ 與 π；至於強度爲零之處，卽諸節平面，（2）式卽表 $\sin\theta = \frac{1}{2}n'$，$n'$ 可能值爲 $n' = \pm 1$，與 ± 2，或者 $\theta = \pm\pi/3$ 與 $\pm\pi/2$，圖 15—37中之極坐標圖所示卽爲此種情況，其強度係以 θ 爲變數繪出。此種天線排列對於在波源聯線之垂直方向上之播送與接收優先，因此如是之天線排列稱爲垂射天線列（*broadside array*）。同樣的方向效應亦用在無線電望遠鏡上，將數個拋物線形天線沿一直線等距離放置，並令其軸相互平行，對一已知的間隔及軸之方向，所收到的無線電波波長由（1）式決定之。

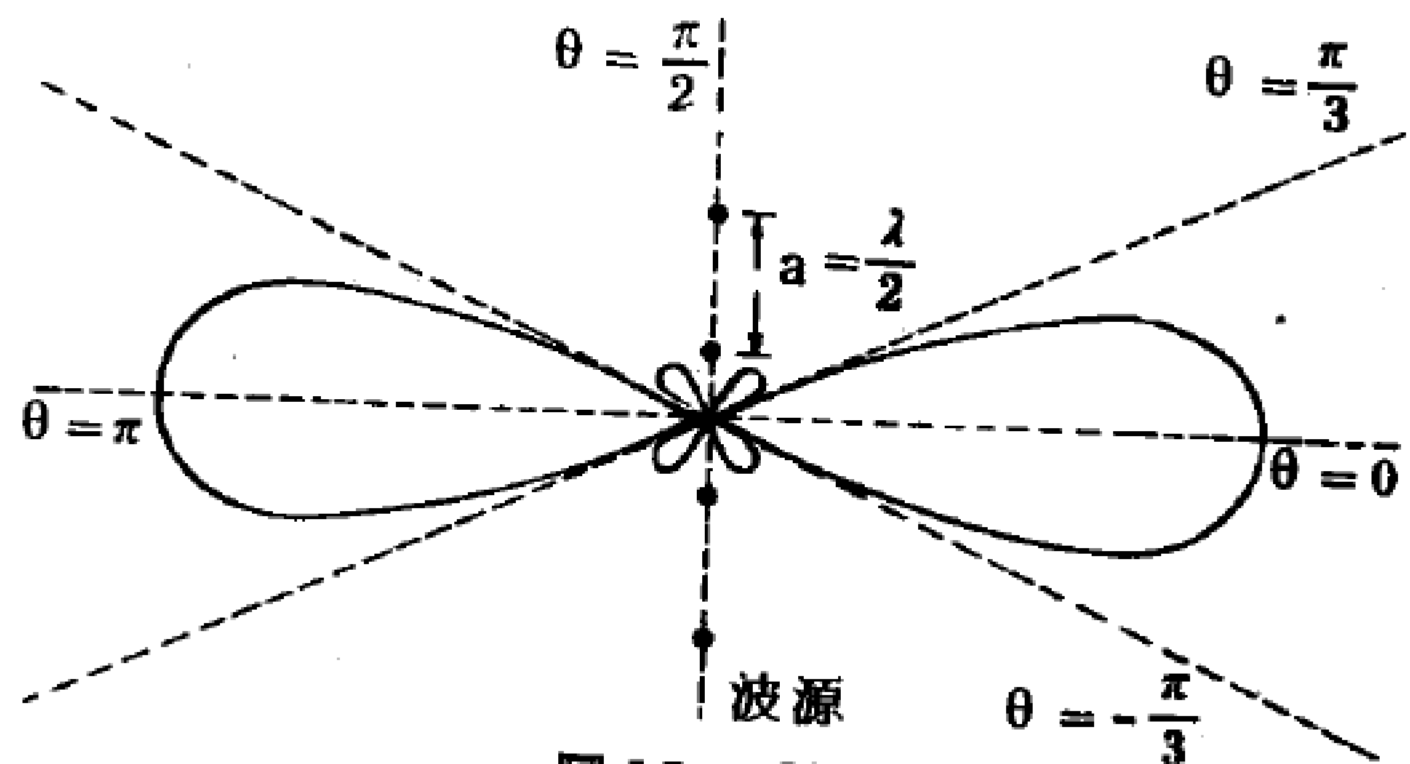


圖 15— 37
由相隔半波長的四個一致性線型波源所生之波，其諸波干涉圖案之強度分佈圖。

【數量級】（Order of magnitude）

物理學上常須運用極大與極小的數字，爲免除書寫之冗長及記憶之方便，乃將任何數字以十的若干次方來表示，如 729 可以寫成 7.29×10^2，而該數字最爲接近十的若干次乘方卽爲其數量級，如此例 729最接近的爲 10^3，則 10^3 卽爲 729之數量級。

【暫時磁鐵】（Temporary magnet）

軟鐵或電磁鐵受磁感應或電流的磁化作用而變成磁鐵，可是把磁鐵移開，或切斷電流時，就失去磁性。這種磁鐵，稱爲暫時磁鐵。

【暫記器】(Register)

電子計算機之一種記憶裝置，備需要時存記小量資料之用。

【暴風】(Gusty air)

風速驟然增減，即成暴風，此種現象並非對流的垂直運動所造成。

【樣板】(Gauging ; Gaging)

利用所吸收的輻射來量物體的厚度、密度或數量的方法，稱為樣板或規。這是工業上利用放射性同位素的一種方式。

【槽路的振盪】(Oscillation of tank circuit)

由電容器 C 與電感器 L 並聯而成的槽路（ *tank circuit* ），是一種最簡單的電能振盪系統。其動作情況與彈簧擺相似，並且所產生的振盪也是阻滯振盪。

為了瞭解槽路振盪作用原理，首先假設電容器 C 已從直流電源得到電荷。電容器的極板 2 最初所帶的是負電荷（有大量電子），極板 1 是帶正電荷，如此在極板 1 與極板 2 之間就有一個電場存在，如圖 15 — 38(*a*)。

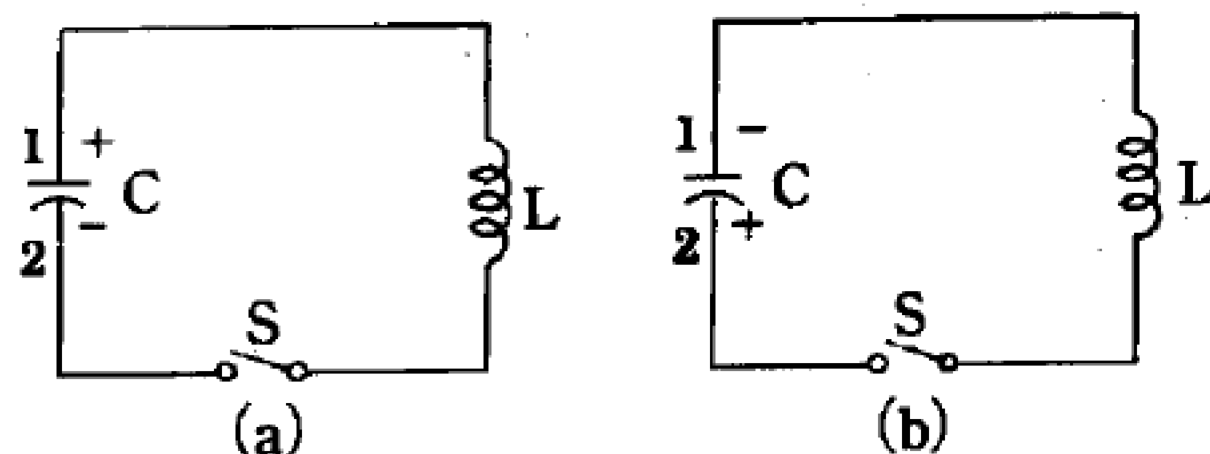


圖 15 — 38　槽路的動作原理

當開關 S 關上，電子很快就從極板 2 經由電感器 L 到達極板 1 。只要有電流流經電感器 L，在線圈（電感器）的周圍就有一個磁場產生。當磁場產生時，由於磁力線切割線圈（電感器）的導線，線圈就會感應一個與電流增加，方向相反的電動勢。此感應電動勢阻止電容器 C 放電，使其放電速率減小。當極板 2 的過量電子，藉放電失去後，而電流有減小的趨勢時，線圈所產生的感應電動勢就有一個幫助電子，使其能夠繼續流動的趨勢。極板 2 不僅失去其過剩的電子，同時因磁場的幫助，使其失去所有的電子，而帶正電荷，同時極板 1 則得到極板 2 原來的所有電子，而帶負電荷，見圖 15 — 38(*b*)。當電流經過電感器，因而使其

產生磁場的同時，電容器電場中所存的能量也就完全改存到磁場中。磁場又藉推送電子流向極板，而將電能存在電容器的電場中，但此時，電容器所帶電荷的極性已改變。極板 1 的電子，再經電容器 1 流向極板 2，使線圈（電感器）產生磁場，儲存電能。同時磁場推送電子向極板 2 流，使電能再存回電場中。當電容器極板 2 的電荷，由負變正，再由正變爲原來所帶的負電荷，就稱爲一週。

由於充電、放電的連續發生，就形成電子的交變流動，或者說是產生振盪。電能時而存在電容器的電場中，時而存在電感器的磁場中，如此交變儲存一週，部分電能，因電容器和電感器的電阻，而成爲熱損失，振盪電流就越來越小，當所有的電能都變爲熱後，振盪電流也就消失了。此種槽路所產生的振盪波形與機械振盪器波形完全相同。

槽路電路的電容器增大，則所產生的振盪週期就增大，也就是頻率減小，這與事實完全符合。電容增大，則每週送入或送出電容器的電子都增加，因此所需的時間也增加。結果，週期增大，頻率減少。

在機械振盪器中，如果重物 W 的重量增大（也就是慣性增大），每振盪一次的週期也就增加。槽路的電感就相當於機械慣性，所以當電感增大時，阻止電流變化的能力增強，電流完成一週流動的時間也就增加。因此電感越大，週期也就越大，槽路的振盪頻率減小。

因此，槽路的振盪頻率與電容及電感均成反比，其振盪的自然頻率（*natural frequency*）公式爲：

$$f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

其中 f 爲頻率，單位爲赫（Hz）；L 爲電感，單位爲亨（h）；C 爲電容，單位爲法（f）。

若上式的頻率爲已知，則可求得無窮多組的電容 C 與電感 L。相同的頻率，可由較大的電感 L 值與較小的電容 C 值求得，或由較小的電感 L 值

與較大的電容C值求得。但在實際上，就一特定頻率，槽路的L/C值對其本身的動作特性，有很重要的影響，所以L/C比值的選擇甚為重要。槽路的阻抗與L/C比值成正比。在一電子管振盪器中，槽路的阻抗，受電子管作用條件（即屏極電壓及電流）的相當程度影響，因此L/C比值的選擇就受到限制。

【標度】（Scale）

為便於視察長短懸殊之物體起見，在尺條上可作多數標號，將R條分為若干長度相等之單位；此種標號名為標度。

【標度盤】（Dial）

具有刻度的平面形或圓柱形表面，指針沿刻度作相對運動。

在無線電接收機內，標度盤用來決定與接收機某一調諧相對應的調諧機構位置。現代許多無線電接收機內都不用指針，而代以沿標度盤上刻度移動的指示器。在這種標度盤上，各波段的刻度沿著直線而刻成，在直線兩旁，刻有用公尺表示的波長數字及用仟赫或兆赫表示的頻率數字，還有各個無線電臺的名稱。標度盤上由波段開關撥動的專門指示器指示接收機接入於什麼波段。在現代無線電接收機內，最常應用的是玻璃標度盤。

【標高】（Elevation）

從比較表面到地球表面之垂直距離。

【標準大氣壓力】（Standard atmospheric pressure）

即標準氣壓。

1標準氣壓＝14.7磅／平方吋＝1.013×10^5牛頓／平方米

【標準米】（Meter - standard）

第一具長度的眞正國際標準是一鉑（Pt）、銥（Ir）合金棒，稱為標準米，存於法國巴黎附近的國際度量衡局。棒之兩端各鑲一金塞，上刻細線，兩線間之距離定為一米（在0°C且以規定方法支持之時）。本

來米之定義爲由北極經巴黎的子午線至赤道距離的千萬分之一。但在標準米造成後，準確測量發現稍有差異（約0.023%）。

因標準米不易取得，故有精確複製品送存世界各國。這些副標準用以校驗其他較易取得的量尺。故所有的尺，測微儀或游標尺均經顯微鏡及劃分機以複雜的步驟與標準比較而取得法定效用。英語國家所用的碼亦如此得來，自 1959 年來經國際協議訂定如下：

1碼（*yard*）= 0.9144米

相當於

1吋 = 2.54厘米

尙有反對以合金米棒爲原始長度標準之異議：如該棒在火災或戰爭中易遭毀損、不易精確複製、不易取得等。最重要者，用顯微鏡比較細線的技術，所作長度標準的準確性，已不能符合近代科學與工藝之要求。標準米所能獲得之最高準確性爲 10^7 分之一，若導航廻旋儀鑽孔時有此誤差，則在作對月球的瞄準時，誤差將達一千哩。

1864 年斐索（*Hippolyte Louis Fizeau*）首先倡議以光波長度爲長度標準。後來干涉儀的發展帶給科學家一精密的光學儀器，能以光波之波長爲長度的比較標準。光波長約 5×10^{-5} 厘米，用以測量數厘米長之棒可準確至一波長之極小分數。以波長作長度比較能達 10^9 分之一的精確度。由於長度之比較的精確度需要日增，而力求最佳之光源。

1961 年，國際協議採取長度的原子標準。選定以氪之特別同位素（^{86}Kr）電弧光中橘黃色光線（以光譜記號 $2p_{10} - 5d_5$ 鑑別之）在眞空中之波長爲標準。現定義此光之 1,650,763.73 個波長爲一米。此波長數是仔細測量標準米的長度而得者，並使基於光波長之新標準儘量與合金米棒之舊標準一致。

選擇原子標準，除增加長度量度之精確外，尙有其他優點：如產生光線的原子到處可獲得，且所有同種類之原子均相同，因而發射相同波

長之光線。因此原子標準既易得且不變。所選擇之特別波長是 ^{86}Kr 之唯一特徵波長，極其顯明確定，且高純度之 ^{86}Kr 同位素容易取得並所費不大。

【標準狀態】(Standard state ; Standard condition)

氣體的壓力爲標準一大氣壓，而溫度爲攝氏零度時，稱爲標準狀態。

【標準沸點】(Standard boiling point .)

在沸騰的水中，蒸汽如欲形成汽泡時，勢非克服水在汽泡上所施予的重量加上空氣在水面上所施予的重量不可 (圖 15 — 39) 。在大氣壓力之下，略去汽泡上微小的液體壓力不計，則汽泡內飽和蒸汽的壓力必須恰好等於外界的大氣壓力時方能形成汽泡。據此，沸騰之水殆係處於兩個彈性氣墊之間，而這兩個氣墊的壓力是彼此保持平衡的。因此我們可以說：液體的沸點乃是某一定之溫度；在此一溫度之下，該液體的飽和蒸汽所具壓力恰好等於液體所承受之壓力。

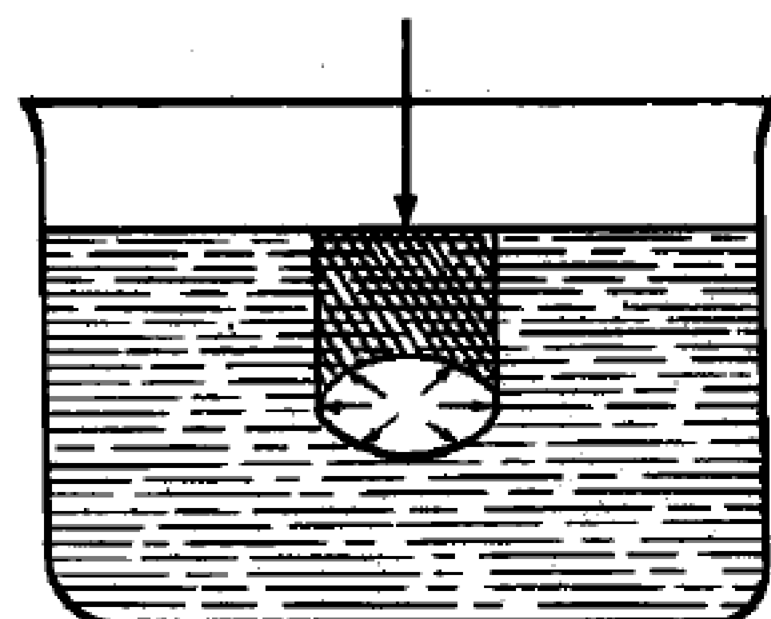


圖 15 — 39
在沸騰的水中，蒸汽泡受到水和空氣的壓力。

在 760毫米標準氣壓下之沸點稱爲標準沸點。所以說：液體的標準沸點乃是某一定之溫度；在此一溫度之下，該液體之飽和蒸汽壓力恰好等於 760 毫米水銀。水的標準沸點是 100°C，醚是 34.6°C，酒精是 78.3°C。因各該液體之飽和蒸汽在上述溫度時恰好具有 760毫米的壓力。某些液體的標準沸點則遠在 0°C之下，例如：液態二氧化碳的標準沸點即爲 − 78.5°C，液態空氣的即爲 − 193° C；而某些液體的標準沸點則遠在 100°C 以上，例如水銀的即爲 356.7° C。這就是說，上列液體在所述各標準沸點之下的飽和蒸汽壓力均各爲760毫米水銀。

【標準音】(Standard tone)

高一八音度 *a* 音及若干其他有固定頻率之音，普通用以校正樂器之音，其頻率恆有一定。迄今德國用作調音之標準者，係一八度音 *a*（*a*），其頻率爲 435 赫茲。至 1939年五月，歐洲各主要國家決定採用一種新的共同標準音，該音爲 440赫茲，較以往所用者稍高，稱爲標準音。與標準音相近之高音 450赫茲，即爲各位所熟知之自動電話空線之聲音；如電話佔線時，則所發出者爲 150赫茲之嗡嗡低音。

【標準時】（Standard time）

地球由西向東自轉，居東者先見太陽，故時刻較早；居西者後見太陽，故時刻較遲。每西行百餘丈，時錶卽須改遲約一秒；東行百餘丈，則時錶又須加早一秒。在同一經度上的各地方，時刻相同。兩地點經度相差十五度時，時間卽相差一小時；故各地有各地的時間，稱作地方時（*local time*）。

近代交通方便，瞬息千里，如果用各地的地方時，極不方便。爲此關係，國際間同意自格林威治天文臺的經線起算，以每隔十五度經線的平太陽時爲標準時，在此標準經線東西各七度半以內的地方，皆用此時間，成一時區。全球三百六十度，共劃分二十四區，稱爲標準時區。在一時區內，各地的地方時與其標準時，相差最多不過半小時。

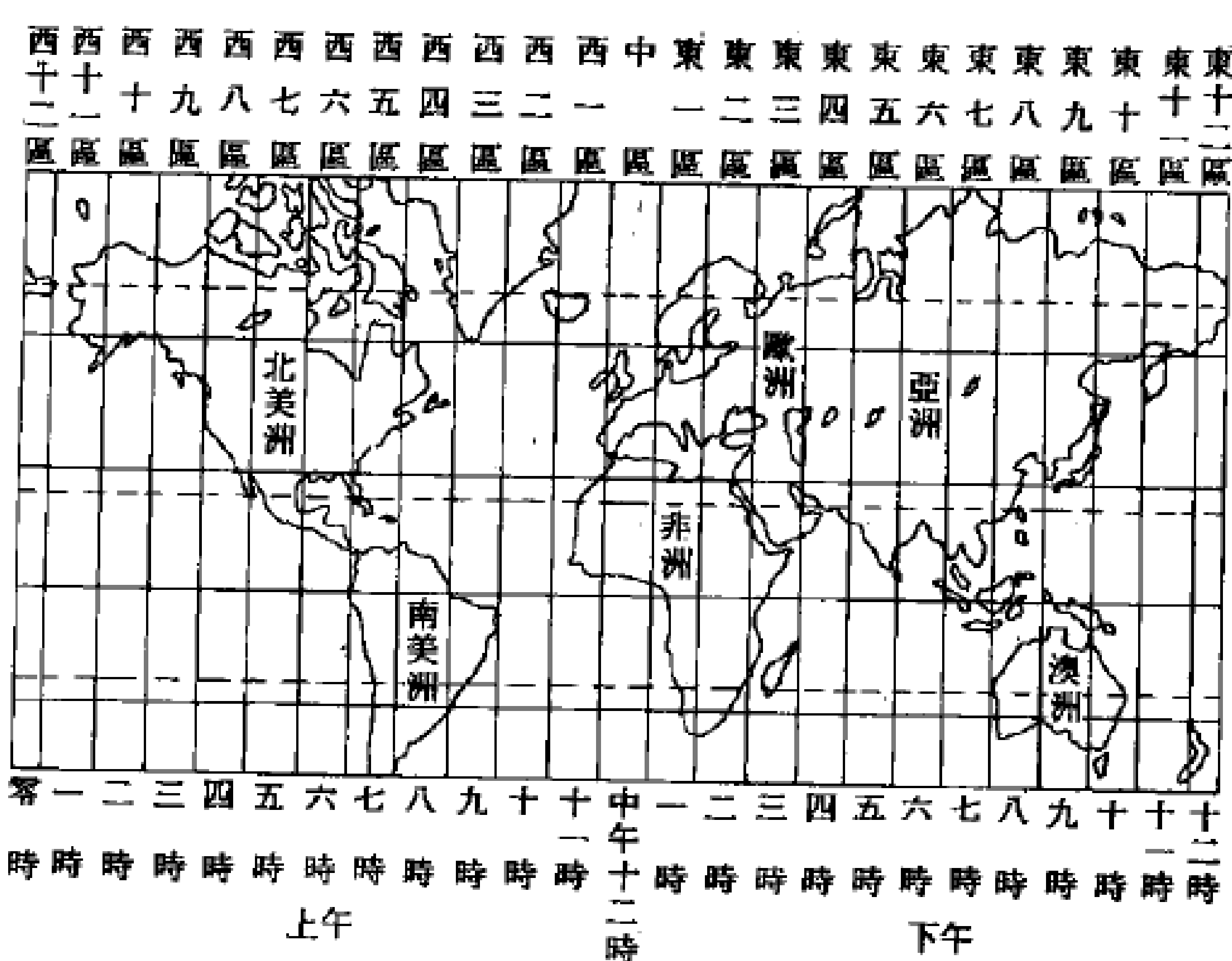


圖.15 — 40　世界標準時區圖

格林威治所在區爲中區。其東十二區，爲下午時區，依次爲東一區、東二區至東十二區止。其西十二區爲上午時區，依次爲西一區、西二

區至西十二區。東第十二區與西第十二區同爲一區。當中區正午十二時，東一區爲下午一時，西一區爲上午十一時。臺灣、香港、上海、南京都在東第八區，所以此時爲下午八時；其餘各地可依此類推計算。

現在世界各地的時刻，大都採用此制。在幅員廣大的國家，如中、美、蘇聯等國，一國內劃分爲幾個時區。如一國的國界，或行政分界線，不是適可沿經線成直線形的，往往將伸出部分仍歸入那大的區域去，所以大陸地方時區分界線，多皆犬牙相錯。

若境地狹窄，東西經度之差，不及七度者，則設爲半時區。半時區的標準時與地方時最多不過相差一刻鐘。

我國幅員遼廣，西起東經七十五度，東至東經一百三十五度。民國八年，北平觀象臺將全國分爲五標準時區，劃分的情形，如圖 15—41 所示。

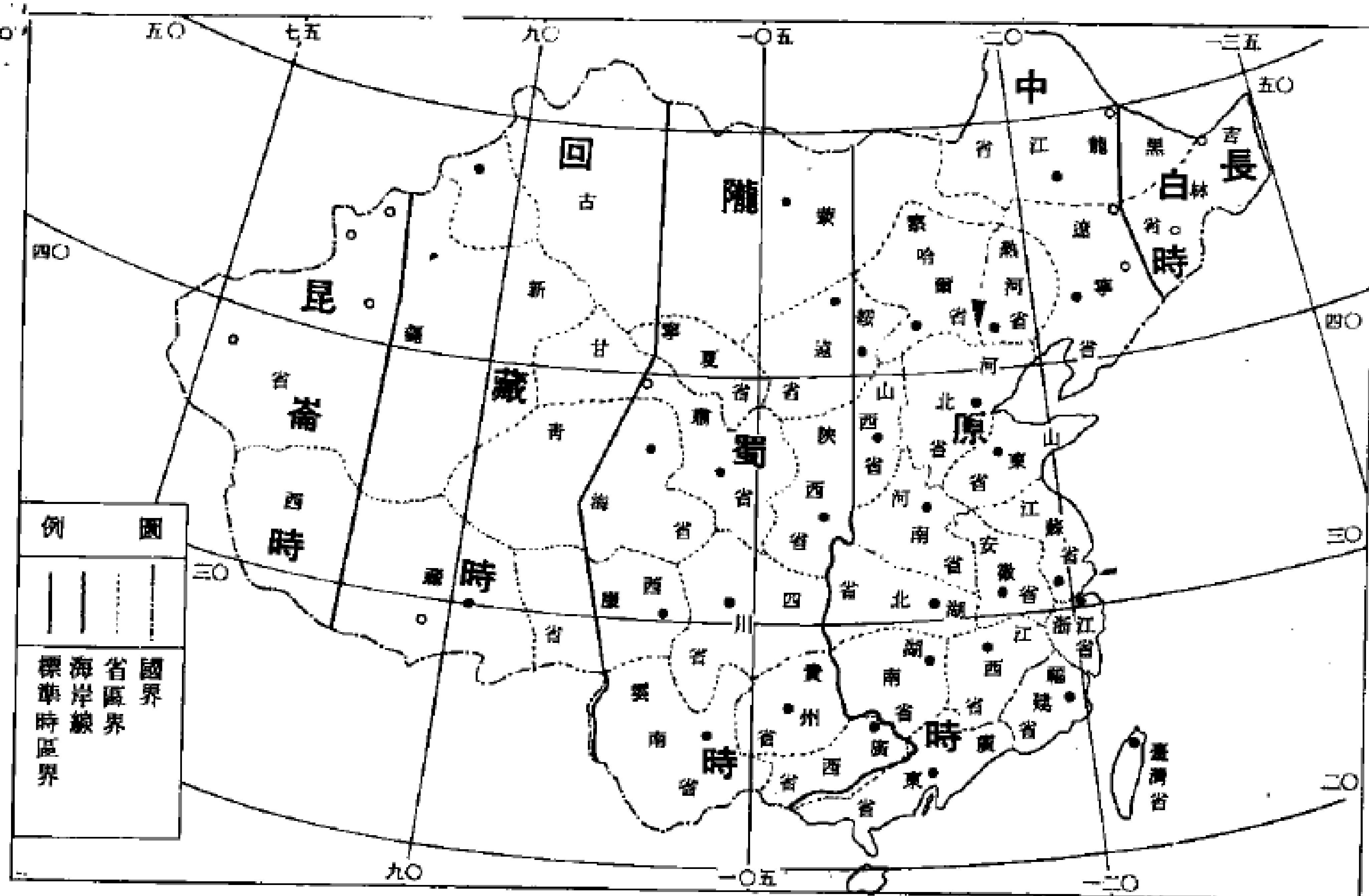


圖 15 — 41　中國標準時區圖

【標準眞空計】(Standard vacuum gauge)

能測定絕對壓力的眞空計如圖 15 — 42。在U字型玻璃管內裝水銀或油，利用其液柱差，可直接測定壓力。有開管與閉管兩種。普通都使

用閉管型水銀壓力計。0.5*mmHg* 以下壓力的測定很難。

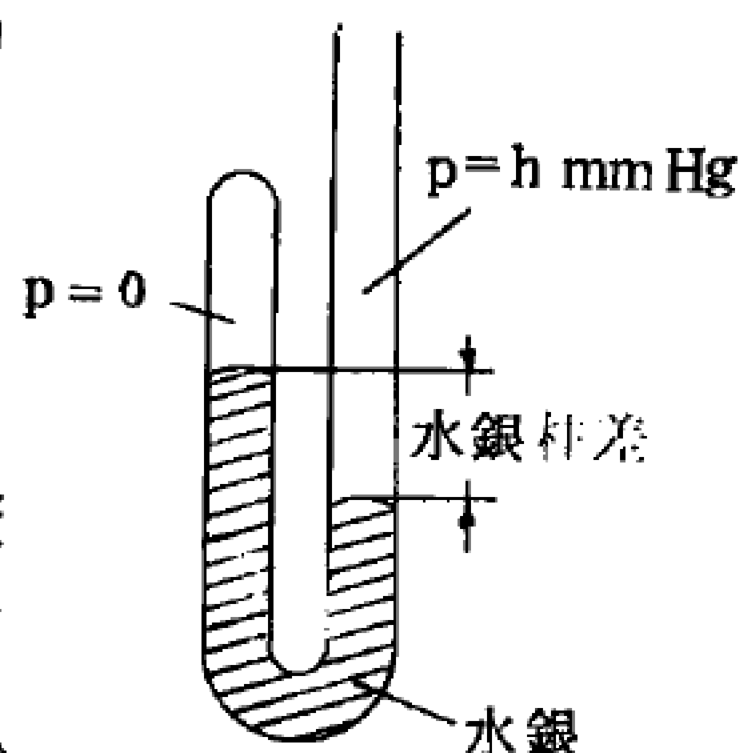
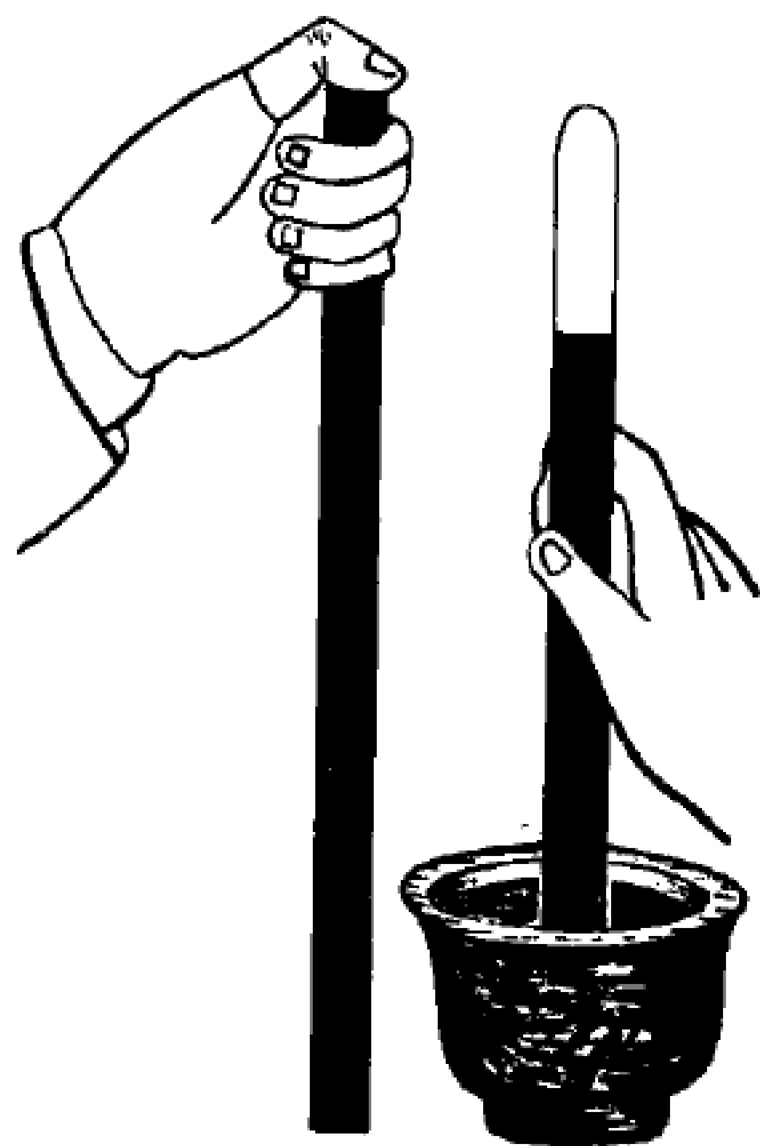


圖 15 — 42
閉管水銀壓力計

【標準氣壓】(Standard atmospheric pressure)

如圖 15 — 43，用長約一米，一端封閉的玻璃管，滿盛水銀；用手指闔其開端倒置於水銀槽中，使閉端向上，然後將手指移去，管內的水銀必降下少許；管內水銀面的高度，約爲 760 毫米 (可用尺量得其實數) 。


圖 15 — 43

這個實驗，稱爲托里拆利實驗。所用的玻璃管，稱爲托里拆利管。管內水銀面上的部分，沒有空氣，稱爲托里拆利眞空 (*Torricellian vacuum*) 。管內水銀上既爲眞空，所以沒有壓力；管外水銀面每單位面積上所受的空氣壓力，必和管內水銀柱的重所生的壓力相等，故大氣壓就可測定。氣壓隨時隨地都有變化，所以水銀柱的高度常有增減，通常以水銀柱 760 毫米的高度爲標準氣壓。

【標準偏差】(Standard deviation)

設變數 u 有 n 個值 u_1 , u_2 , …, u_n ，每值出現的機率分別爲 P_1 , P_2 ,… , P_n , 則 u 的標準偏差定義爲

$$\sigma(u)=\left[\overline{(u-\bar{u})^2}\right]^{1/2}$$

式中變數上的橫線代表平均值，即 u 的平均值爲

$$\bar{u}=\sum_{r=1}^{n}P_r u_r$$

【標準零電位】(Standard zero electric potential)

因地球爲巨大之導體，且各處電位相等，故規定爲標準零電位。

【標準線規】(Standard wire gauge)

已規定之線徑，其大小用號數表之。英國用 *S. W. G.* 標準線規 (*Standard Wire Gauge*)。美國用 *B. S.* 線規 (*Brown & Sharpe Wire Gauge*)。歐洲古時用 *B. W. G.* 線規 (*Birmingham Wire Gauge*)。

【標準質量】(Standard mass)

鉑 (*Pt*)、銥 (*Ir*) 合金圓柱兼作慣性質量與重力質量的標準，定名爲一仟克。

【標準燭光】(Standard candle)

一個光源發光的多少叫做它的發光強度。發光強度的單位，起初以一種鯨魚油燭燃燒時所發的光當做標準。那種鯨油燭每支重 75.6 公克，直徑 2.22 公分，點燃時每小時消耗 7.78 公克，所發的光叫 1 標準燭光。因爲標準燭的燃燒情形和發光的強弱不容易控制，後來就以用標準燭光校正過的白熱電燈做爲發光強度的標準。

普通 20 瓦的電燈，發光強度大約是 16 燭光，100 瓦的充氣電燈泡，發光強度約爲 120 燭光。

【標稱頻率】(Nominal frequency)

光源有它一定的頻率，我們叫它爲標稱頻率，以別於相對運動時觀察之"視頻率"。

【樂音】(Musical sound)

聲音有樂音與噪音二種；物體有規律的振動所發出的聲音，如彈琴可使人聽起來有愉快的感覺，稱爲樂音。發音體不規則的振動，如拉鋸發生之音則稱噪音 (圖 15 — 44)。



(a)噪音



(b)樂音

圖 15 — 44　噪音與樂音

樂音有三要素：響度、音調、音色 (音品)。響度與振幅之平方成

正比；音調是聲音的高低，與物體振動的頻率成正比，發音體頻率越大，音調越高；音品則決定於泛音之多寡及各該泛音之強度。

【歐巴赫過程】（Orbach process）

核磁共振現象中沿磁場方向的磁化，如不在熱平衡狀態時，其達到熱平衡所需的時間，由核自旋、晶格遲緩作用而定。自旋、晶格遲緩時間主要來源有三：一為直接效應，即帶磁體吸收或放出一個聲子，同時自旋系統有一能階變化發生；二為拉曼過程（*Raman process*），即聲子的散射，引起自旋系統的能階變化；三為歐巴赫過程，即聲子的散射率涉及第三能階的介入。三種效應可如圖 15—45 所示。

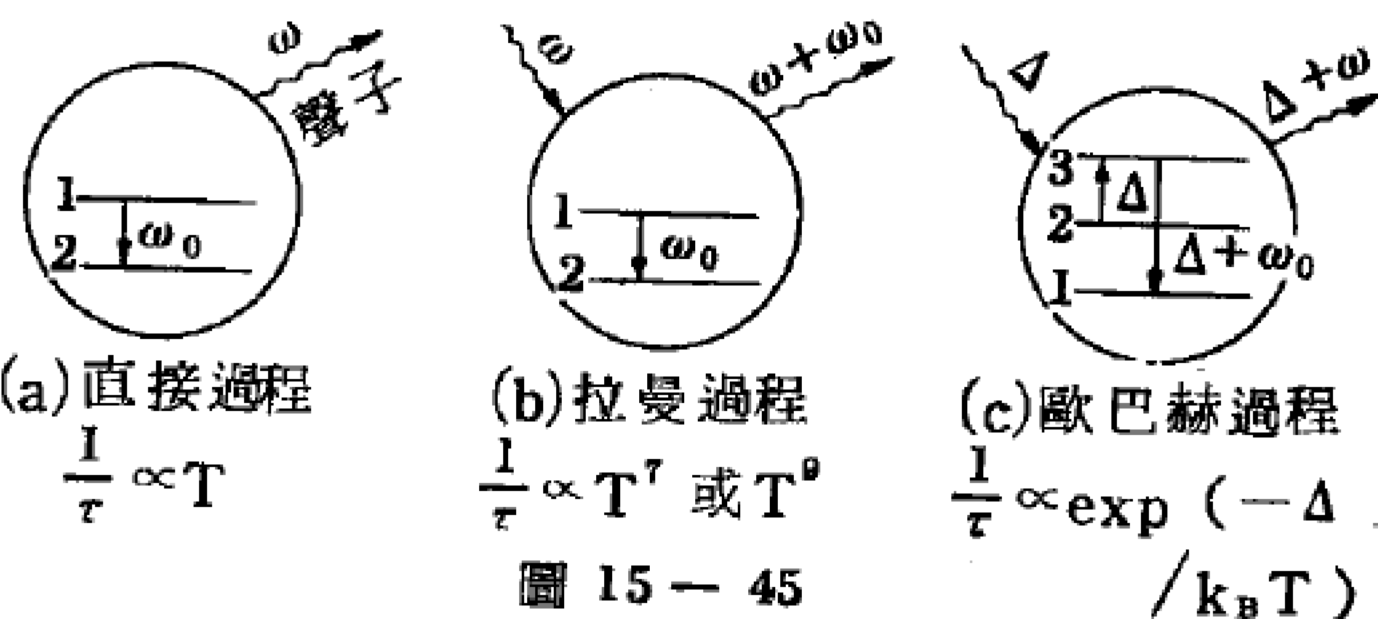


圖 15 — 45

圖中之 τ 表示自旋、晶格遲緩時間，T 表絕對溫度，k_B 是波茲曼常數（*Boltzmann constant*）。

【歐本海默】（J. Robert Oppenheimer 1904—1967）

美籍猶太人。1904 年四月二十二日生於紐約市，1925 年哈佛大學學士，1926 在劍橋大學拉塞福（*Rutherford*）指導下研究，1927 年在哥丁根大學波恩（*Born*）指導下得博士學位，其論文與分子的結構有關，發明波恩、歐本海默近似法（*Born - Oppenheimer approximation*）。1929年在加州大學柏克萊校區及加州理工學院同時兼課，1936 年升正教授，1941 年當選美國科學院院士。1942 年組織*Los Alamos* 科學實驗所，次年被任命為主持人，歐本海默領導一群世界上最偉大的物理學家〔包括費米（*Fermi*）、貝賽（*Bathe*）等〕發展原子彈。1946 年獲美國功勳獎章，1946 至 1966年任普林斯頓高等研究院院長，1948 年任美國物理學會主席。1954 年受美國原子能委員會審查，認為他的忠貞並無問題，但參與秘密性工作對國家安

全有妨害，這個決定曾引起全美學術界的憤慨。1963 年詹森（*Johson*）總統親自頒予費米獎，1967 年二月十八日逝於普林斯頓。歐本海默對哲學（包括禪學和印度哲學）及文學都很有心得，後人尊爲原子彈之父。

【歐姆】（Georg Simon Ohm 1787—1854）

德國物理學家，1787年生於歐蘭格（*Erlanger*），畢業於歐蘭格大學，1826 年發現導體的電阻、電流與電動勢之間的關係定律今稱歐姆定律。此定律先未受重視，直到1833年歐姆在紐侖堡（*Nuremberg*）任物理學教授時才漸爲人所知。1849 年歐姆任慕尼黑大學物理學教授。

今人爲紀念其對電學貢獻，乃以其名爲電阻之單位。一歐姆定義爲電位差一伏特時，能通過一安培電流的電阻。一國際歐姆單位（法定歐姆）定義爲定電流及 $0°C$ 時，14.4521 克，長 106.300 厘米均勻截面的水銀柱之電阻。

【歐姆表】（Ohmmeter）

測量電阻的儀器，可以直接讀出被測電阻的歐姆數。它是一個靈敏而刻有歐姆標度的直流測量電表和一個直流電源（通常是用乾電池）。歐姆表分爲串聯電路歐姆表（被測電阻和測量電表串聯）和並聯電路歐姆表（被測電阻和測量電表並聯）。

【歐姆定律】（Ohm's law）

如果一截面積爲 A，長度爲 L 的金屬導線兩端有一電位差 V，則由實驗的結果，導線內必有電流，其大小與 V 成正比，即

$$I = \frac{V}{R} \qquad (1)$$

這個比例關係便是歐姆定律，係德國科學家歐姆於 1826 年所發現。比例常數 R 被稱爲該導線的電阻，在 M.K.S. 實用單位制裏，電流的單

位是安培，電位差（電壓）是伏特，電阻的單位則爲歐姆。

當導線的溫度不變時，電阻與導線內的電流大小無關，但與導線的長度 L 成正比而與其截面積 A 成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (2)$$

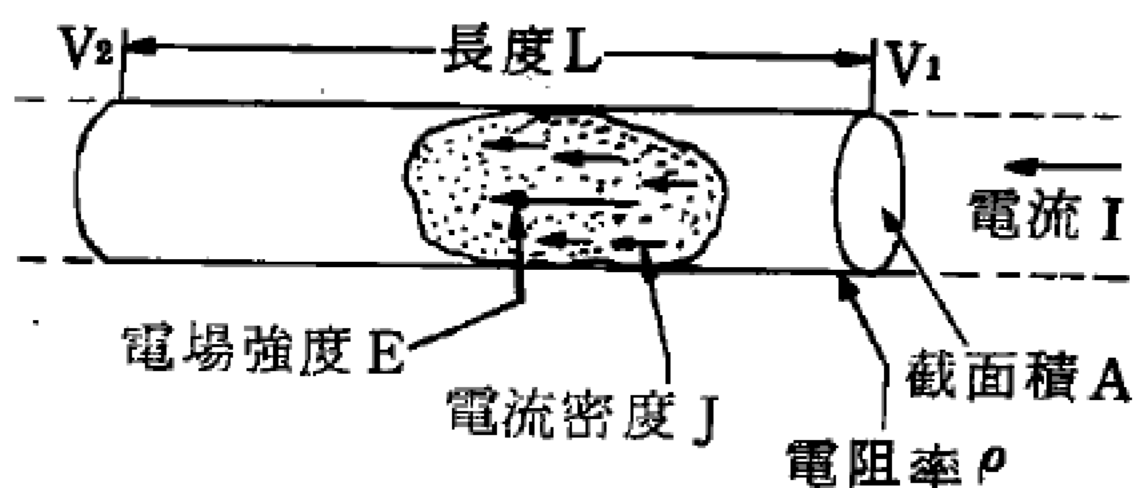
ρ 爲電阻率（*resistivity*）單位爲歐姆-厘米。合併（1）、（2）兩式得

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho}\frac{V}{L} \qquad (3)$$

因爲導線內的電流密度爲 $J = \frac{I}{A}$，導線內的平均電場爲 $E = \frac{V}{L}$，故上式可寫成

$$J = \sigma E \qquad (4)$$

其中 $\sigma = \frac{1}{\rho}$，稱爲電導係數（*electrical conductivity*），（4）式也常被稱爲歐姆定律，它表示物質內某一點的電流密度與該處電場之間的關係。當導體是無向性的（*isotropic*）均勻物質時，E 與 J 的方向相同，這時 σ 爲一純量。若物質具有方向性，如石英晶體、石墨晶體等，J 的方向與 E 的方向則會不同，這時 σ 爲一張量，其實用單位爲（歐姆 - 厘米）$^{-1}$。



$I = AJ = A\sigma E$

$V = V_1 - V_2 = EL$

$\frac{V}{I} = \frac{EL}{A\sigma E} = \frac{L}{\sigma A} = \rho\frac{L}{A} = R$

$\left(\frac{\text{esu秒}}{\text{厘米}^2}\right) = \left(\frac{1}{\text{秒}}\right)\left(\frac{\text{靜伏特}}{\text{厘米}}\right)$ C.G.S.單位

$J = \sigma \quad E$

$\left(\frac{\text{安培}}{\text{厘米}}\right) = \left(\frac{1}{\text{歐姆-厘米}}\right)\left(\frac{\text{伏特}}{\text{厘米}}\right)$ 實用單位

圖 15 — 46
導體內的電流密度與電場的關係

【歐姆熱】（Ohmic heat）

帶電粒子承受電場的作用而與其它粒子相碰撞所接受的熱。

這與歐姆電阻由於介質中的電荷載體相碰撞而生熱的情況相近，故稱爲歐姆熱。

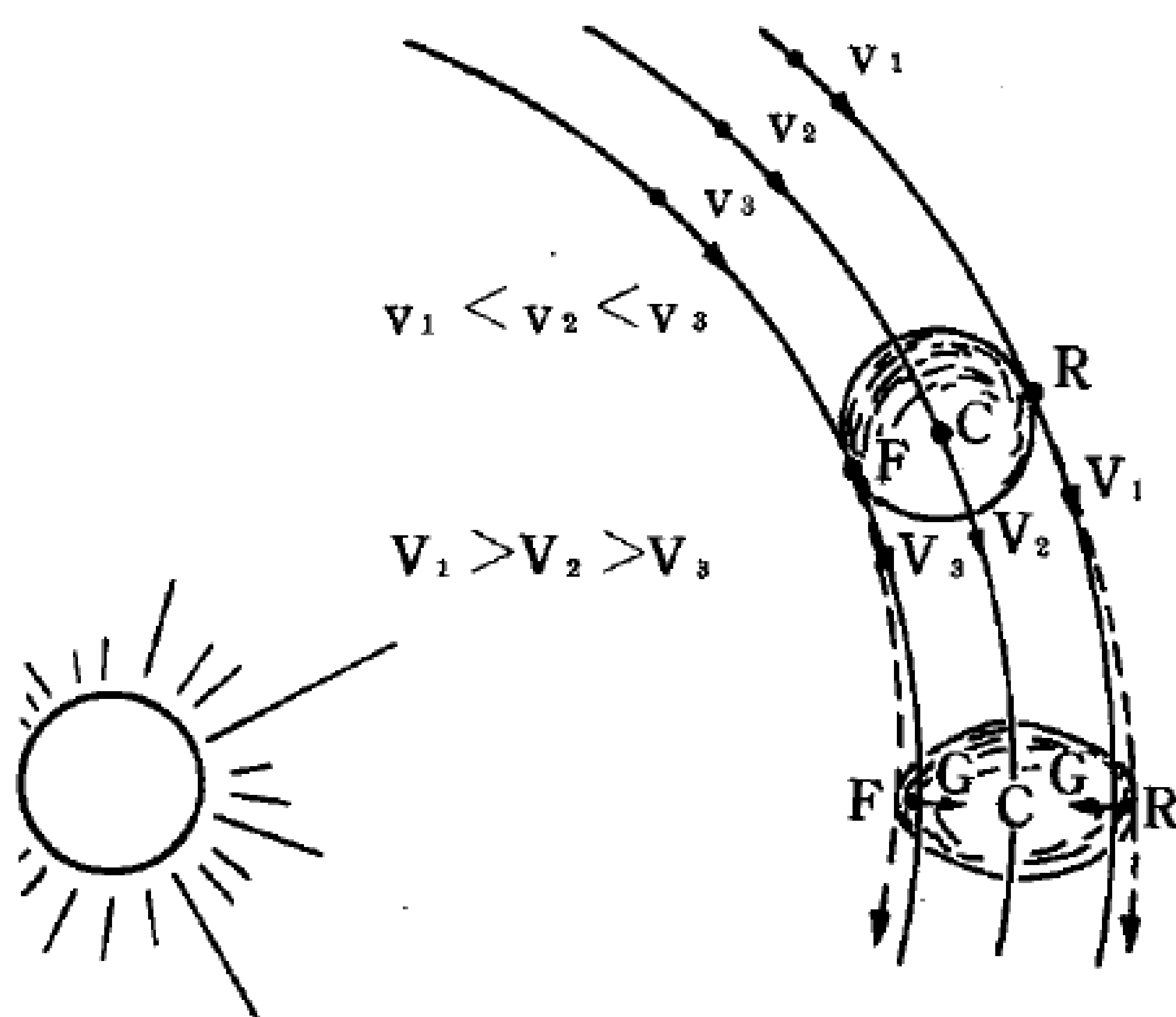
【潮汐】(Tides)

地球表面的海水，由於受天體萬有引力及本身公轉、自轉、氣象變化的影響，使海面產生一種週期性的升降運動，便是所謂潮汐。

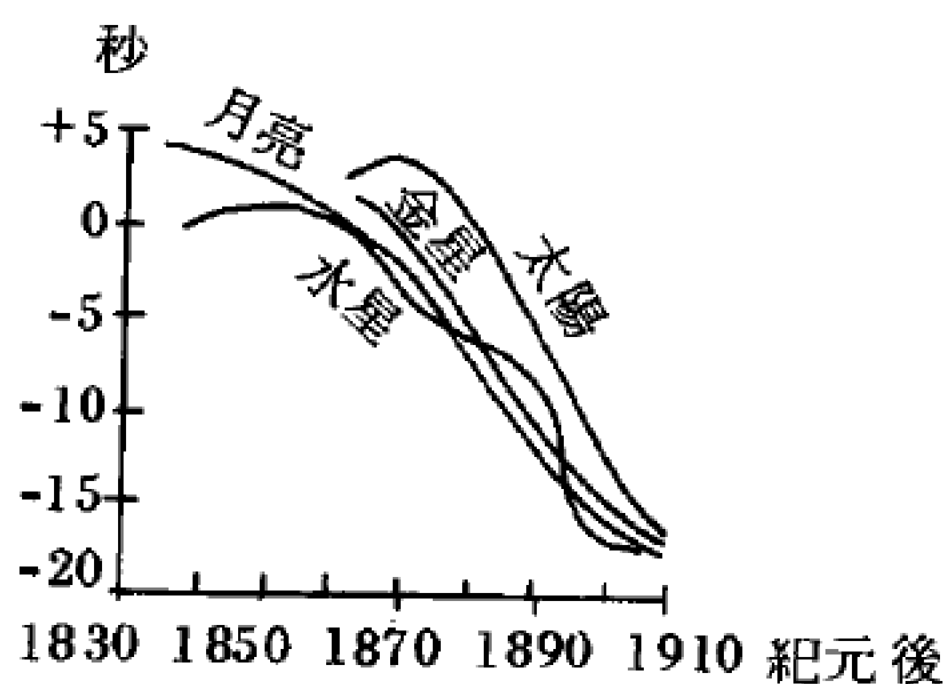
潮汐在地球各地，因受陸地、島嶼、海底等地形的變化及海水黏滯性、海底摩擦等影響，變化多端，使潮汐產生諸般不規則的變化，從十幾公分到十餘公尺不等，至於平均週期則大致相同，爲12時25分。

牛頓認爲海平面的週期性升降，主要是太陽和月亮對海水的引力作用的結果，月亮的作用比較大得多，因爲月亮雖比太陽小得多，但距離地球則比太陽近得很多。牛頓論稱因爲引力是隨距離而減小的，在地球受月光或日光照射的一側，作用於海水的引力，比在另一側的爲大，因此海水遂升騰到正常的高度以上。

地球繞太陽旋轉是成一整體運動的，對向太陽那一邊（圖 15—47(a)中的 F ）的線速度，比地球中心 C 的線速度爲小，而地球中心的線速度又比



(a)潮汐力的來源



(b)天體運動的視延遲

圖 15 — 47

後邊 R的線速度爲小。在另一方面，太陽引力作用下的圓形軌道運動的線速度，必須隨離太陽的距離的增加而減低。因此，F 點的線速度比維持圓形運動所需的爲小，所以有偏向太陽的趨勢，如圖 15—47(a)中 F 處虛線箭頭所表示的樣子。同理，R 點的線速度，比它的圓形軌道所需要的爲大，而有更遠離太陽運動的趨向（R 處虛線箭頭所表示的）。這樣，如果在構成地球各部分的物質間沒有相互的吸引力，則地球會破裂成片，全部分散在黃道面內，成爲一圈寬濶的環。但因爲地球各部分間的吸引力使它們聚集在一起，這才不會發生。折衷的結果，地球便在軌道的半徑方向拉長，使每邊都凸起。

關於因月亮而引起的潮汐，如果想到地球和月亮兩者是繞著它們共同的重心運動的話，論證是完全相同的。因爲月球比地球約輕八十倍，這兩個天體的共同重心是在距地球中心約八十分之一的地方。月亮與地球中心的距離，等於地球半徑之六十倍，我們可推斷地球月球體系的重心，是在離地球中心 60／80 = 3／4 地球半徑之處。不管幾何學上量的差異，物理上的論證仍是一樣的。

地球的海水有二處凸起，一處對向共同重心（也就是對向月球的方向），另一處則在相反的方向。

當太陽、地球和月球的位置在一條直線上時（也就是在新月和望月期間）月亮和太陽的潮汐作用相互加強，潮汐特別大。而在上弦和下弦月期間，月高潮和日低潮相合，抵銷的結果使潮減低。

因爲地球並不是絕對的剛體，所以日月的潮汐力量能使地球變形，不過這些變形和它外包的水界比較起來小得多罷了。美國的物理學家邁克生（*A. A. Michelson*），從實驗中求得每十二小時中，地球表面的變形爲一呎，而海平面的變化約爲四到五呎。因爲地殼的變動是緩慢而圓滑的，所以我們並不覺察地面有變動。

地球上的潮汐起落，使在海底〔特別在像白令海（*Bering Sea*）等淺

海中〕發生摩擦，和陸地的海岸相衝激也有能的損失。有二位英國科學家傑佛瑞（*Harold Jeffreys*）和泰勒（*Geoffrey Taylor*），曾估計海潮繼續不斷所作的總功，約相當於二十億馬力。由於這項能量消耗，地球的繞軸自轉慢了下來，正像汽車輪子被加煞車時一樣。將潮汐所消耗的能和地球自轉的總能量相比，求得地球每一轉慢了0.00000002秒鐘；每天比前一天要長二億分之一秒。這是一個非常微小的變化，在今天和明天，或從這一新年到另一新年間是沒有辦法測量出來的。但逐年累積起來，一百年有 36,525 天，所以在一世紀以前，一天要比現在的一天短 0.0007 秒。從那時到現在平均起來，一天的長度比現在短 0.00035秒。但因爲已過了 36,525 天，累積的誤差必有 36,525 × 0.00035 = 14 秒。

每一個世紀十四秒，是一個很小的數字，但卻是天文觀察和計算的精確度範圍以內的。事實上，這項地球繞軸自轉的逐漸緩慢，解釋了多年來天文學家無法解決的一項差異。眞的，比較太陽、月亮、水星和金星對固定恆星的相關位置，天文學家注意到它們似乎比一世紀前，根據天體力學所計算出的位置似有系統性的提早（圖 15 — 47(*b*)）。在地球旋轉的變慢被認知之前，天文學家一直把地球當作完善的時鐘。現在則知道得更多，並採用了因潮汐摩擦而產生的修正。

【潮汐共鳴】（Tidal resonance）

在天文物理上很重要的假說，是說地殼之一部逃出而成月球。月球密度爲 3.43 g/cm^3，比地球之 5.51 g/cm^3 小，可能不含地心成分，而只含地殼與地套成分。在月球由太平洋逃出之後，其他地殼分裂成數塊，在尙流動之下，上層流向低處，而生大西洋、北極洋及印度洋在其中間。在大陸地達到對稱分佈之前各塊已凝固而固定在現在位置。對於這理論的反對很多，所以目前不大受重視。

【潮汐能】（Tide energy）

潮汐能爲利用水壩才能擷取的潮汐位能。海潮上漲時，海水一波一波地上湧。高度愈高，海水的位能就愈大。潮汐能的所以能加以利用，是在於潮汐本身的具有高低差。欲擷取這種能量方法至爲簡便，先將靠近海洋的海灣或深水口用堤壩使其與海洋隔開，造成一個人工內灣。然後，利用只可讓水流流進，而不易流出的小閘，在漲潮的時候，將內灣注滿海水；並在高達一定程度時，加以關閉。最後，在退潮的時候，讓積貯內灣中的海水經由渦輪流回海洋裏。這時，就可帶動發電機了。遇再度漲潮時，內灣又會注滿，以重複進行上述的過程。

【潛水艇】(Submarine)

在水中可以自由浮沉之交通工具，是應用阿基米德原理製造而成。要使其沉下時，用唧筒引水至水槽內，使全船的重量與其所排開的水重相等；浮出時，將壓縮的空氣放入水槽，將水逼出，全船重量既減輕，就能立即浮出。

【潛望鏡】(Periscope)

潛於海底，用以窺探海面活動的裝置，其構造與普通地上望遠鏡同，惟另加二直角稜鏡使物光折向射入眼中（圖 15－48）。

參閱“直角稜鏡（*Right angled prism*）”條。

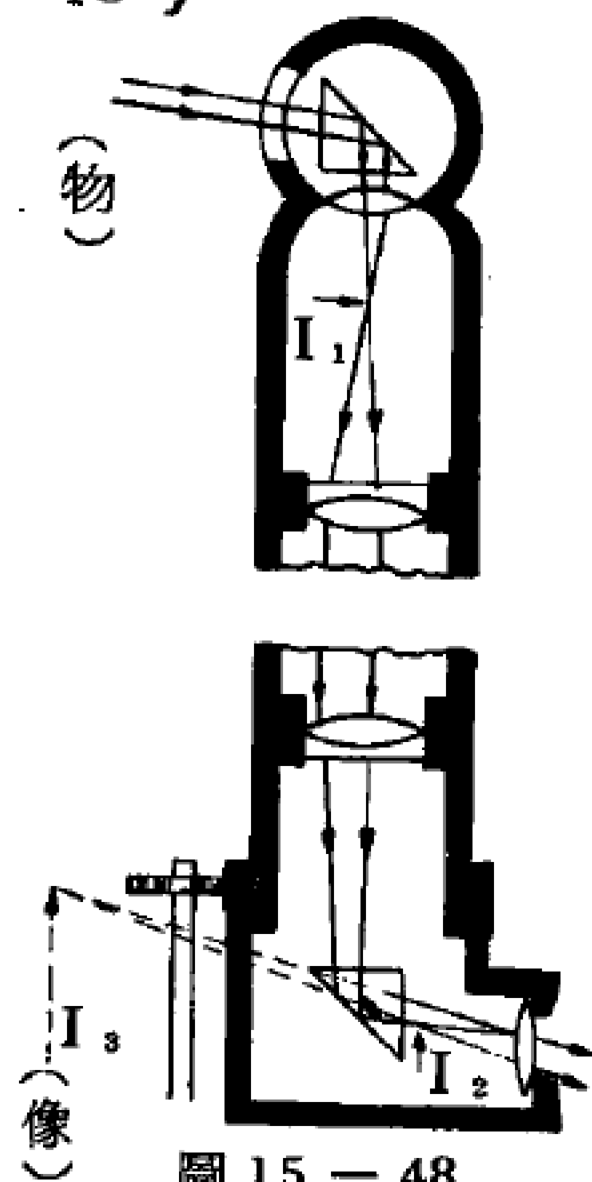


圖 15 — 48

【潛熱】(Latent heat)

物態變化時，熱量增減，溫度並無改變，此種熱量名爲潛熱。亦即當兩種相在平衡共存時，系統從某一相改變成另一相時，單位質量所需吸收的熱。常用單位爲卡／克，或卡／克分子。可分三種：

1.熔解（潛）熱—— 在熔點時，某固體物質由固態熔融成液態的過程中，單位質量所吸收的熱量。實驗上可由以下方法求得熔解熱：

(1)本生冰量熱器（*Bunsen ice calorimeter*）係將一定量的液體樣品放入量熱器內，當樣品與冰達同一溫度而凝結成固體時，在量熱器內部分的冰即被熔解，由此可以測得樣品的熔解熱。

(2)混合法乃將待測固體樣品放入裝有液體的量熱器內，固體樣品化爲液體時溫度下降，由此而能求得固體物質的熔解熱。

(3)冷卻法即由決定物質從凝固點以上的某溫度降至凝固點時所需的時間而測得熔解熱。

(4)量度物質由熔點以下的溫度升高至熔點以上的溫度所需的電能。

(5)間接測量法又可分下列二種方法：

①由克勞修士、克拉泊壤方程式（*Clausius - Clapeyron equation*）

$$L = T\frac{dP}{dT}\Delta V$$

式中 ΔV 爲相改變時每克分子的體積改變量；T 爲相平衡時的絕對溫度，$\frac{dP}{dT}$ 可以由相平衡曲線求得。

②在溶劑裏加入可溶的溶質以測定其凝固點下降而算得熔解熱

$$L = \frac{n_2}{n_1}\frac{RT_0^{\,2}}{\Delta T_0}$$

式中 n_1 及 n_2 分別爲溶劑及溶質的濃度，T_0 爲純溶劑的熔點。

2.汽化熱——在沸點時，某液體物質由液態變成氣態的過程中，單位質量所吸收的熱量。由以下實驗方法可求得汽化熱：

(1)凝結法即由量度一定量的蒸汽凝結時所放出的熱而得。

(2)汽化法係將一定量的液體汽化而量度吸收的熱量。亨寧（*Henning*）曾由電源供熱以量度溫度在 30℃ ～ 180℃ 水的汽化熱。

(3)由間接方法求汽化熱：仍可由克勞修士、克拉泊壤方程式求之。

汽化熱隨溫度升高而遞減，到臨界溫度時變爲零。所有的物質其潛

熱隨溫度的變化可以下式表示之：

$$\frac{dL}{dT}-\frac{L}{T}=S_2-S_1-\frac{L}{\Delta v}\left\{\left(\frac{\partial v_2}{\partial T}\right)_P-\left(\frac{\partial v_1}{\partial T}\right)_P\right\}$$

式中 S_1 及 S_2 分別爲液體及氣體的比熱，$\Delta v=\Delta V/N$，N 爲分子數，ΔV 爲在沸點時因相變化而產生的體積差。亨寧得到水在30°C～100°C的實驗公式爲

$$L=538.86+0.5994\,(100-t)$$

3. 昇華熱——物質由固態不經液態而直接汽化成氣態時所需吸收的熱量，其值的測定可由上述的汽化法進行之。

【潘諾士基比】（Panofsky ratio）

$\pi^-+p\rightarrow n+\pi^0$ 的散射截面除以 $\pi^-+p\rightarrow n+\gamma$ 的散射截面之值，實驗結果爲 1.53。

【熱】（Heat）

在十九世紀中葉以前，物體的溫度變化被認爲由於熱質（*caloric*）一物出入其間，但經洛莫奴索（*Lomonosov*）、冉福得（*Rumford*）、德維（*Davy*）等人研究，這種熱質學說才被否定。自十九世紀中葉熱力學第一定律奠定後，藉著物體某種狀態變化而研究熱，即當某物體在一定條件下產生一定溫度變化時，稱爲物體獲得或散失一定量的熱。一面和這一物體接觸並因熱的傳導產生溫度變化的另一物體，相反地叫做損失或獲得該定量的熱。熱量以能使一克的純水在一大氣壓力下自14.5°C 上升至 15.5°C 所需的熱爲單位，稱爲一卡。決定熱量有二定點的溫度即可，而不須特定的溫度標。但是此時須指定途中的變化過程。通常只規定初態及終態，則其間的進出熱量不能規定，而須和功合在一起，方可造成由二狀態所定的物理量，這就是熱力學第一定律的內容。因此由物體狀態而定的熱量，或物體所具有的熱量等概念均無意義。

【熱力平衡】(Thermodynamic equilibrium)

是敍述若一系統平衡時，能交換能量的過程必恰有逆過程以抵銷，因而無淨能量改變，這是統計力學上很普遍的結果。例如游離爲復合所抵銷，制動輻射爲吸收所抵銷。若離子體符合上述條件，則粒子能量的分佈函數和原子的激發能階均可由馬克士威、波茲曼分佈 (*Maxwell-Boltzmann distribution*) 求得，此分佈僅爲溫度的函數。沙哈方程式 (*Saha equation*) 即爲此結果的特別應用 ，得到離子或電子的分佈函數或其密度分佈。

【熱力系統】(Thermodynamical system)

熱力學所研究的對象叫做熱力系統。任何巨觀物系都可以被視爲熱力系統，而給予一種熱力學上的描述。工程上，重要的熱力學系統可以是一種氣體；一種蒸汽；一種混合物以及與其液體相接觸的蒸汽。化學熱力學除處理上述系統，此外還討論固體、表面膜 (*surface film*) 以及電池。物理熱力學在上述系統之外，還處理張緊的金屬線、電容器 (*electric capacitor*) 、溫差電偶 (*thermocouple*) 、磁性物質等系統。

【熱力坐標】(Thermodynamic coordinates)

用以描述熱力系統的巨觀物理量叫做熱力坐標，可指示系統的內能。最重要的熱力坐標是“溫度”的概念。

【熱力溫標】(Thermodynamic scale of temperature)

可逆機器的效率與工作物質無關，僅與機器操作之兩溫度有關。因 $e = 1 - Q_2/Q_1$ ，故 Q_2/Q_1 可只與溫度有關，這引起克耳文 (*Kelvin*) 倡議新的溫標。若 θ_1 與 θ_2 代表這二溫度，他定義的方程式爲

$$\theta_1 / \theta_2 = Q_1 / Q_2$$

即此溫標之二溫度的比，爲卡諾熱機 (*Carnot engine*) 在此二溫度間操作時所吸之熱和所放之熱的比。這種溫度稱爲熱力溫標或克氏溫標

(*Kelvin's thermometric scale*)。

欲完成熱動溫標的定義，任意指定273.16° 為水的三相點溫度，故 θ_{tr} = 273.16°K。則卡諾熱機在溫度為 θ 和 θ_{tr} 之二熱庫間操作時，

有
$$\frac{\theta}{\theta_{tr}}=\frac{Q}{Q_{tr}}$$

或
$$\theta = 273.16°K\frac{Q}{Q_{tr}}$$

若與理想氣體溫度 T

$$T = 273.16°K \lim_{P_{tr}\to 0}\frac{P}{P_{tr}} \qquad (1)$$

比較之，可知熱動標度 Q 有測溫性質。但因卡諾熱機與工作物質的性質無關，Q 並不與任何物質的特性有關，因此得到一種溫標不致有理想氣體溫標之缺點。T 為盛以理想氣體之定容溫度計所給之溫度，因此 $Q_1/Q_2=T_1/T_2$，且 $Q_1/Q_2=\theta_1/\theta_2$，因 $\theta_{tr}=T_{tr}=273.16°$，$\theta/\theta_{tr}=T/T_{tr}$，故 $\theta=T$。所以，若有理想氣體供作定容溫度計，則此溫度計將得到熱動（或克氏）溫度。已知雖無理想氣體，以眞實氣體用（1）式的極限方法所作之測量卻相當於理想氣體之行徑。我們將視理想氣體溫標和熱動溫標相同，而以 °K 表之。

實際上沒有氣體能低於 1°K，測量低於 1°K溫度方法之一為直接使用熱力溫標。兩熱力溫度的比，等於由兩絕熱線和兩等溫線之循環中所傳移之熱的比（圖 15— 49）。絕熱邊界（*adiabatic boundary*）的位置（P - V 圖上）可由實驗得之，而在兩近乎可逆的等溫過程中所傳移之熱可極精確測得。

由式
$$T = 273.16°K\frac{Q}{Q_{tr}} \quad 或 \quad \frac{T}{T_{tr}}=\frac{Q}{Q_{tr}}$$

顯見在兩已知絕熱線間之等溫過程中，所傳移之熱 Q 隨溫度之降低而減少。反之，Q 愈小，對應之溫度 T 愈低。今 Q 之最小值為零，對應之 T

即爲絕對零度，即若系統進行可逆等溫過程而無熱之傳移，則發生此過程之溫度爲絕對零度，因此在絕對零度時，等溫線和絕熱線相同（圖 15 — 49 ）。

此絕對零度的定義適用於所有物質，且與任何物質的性質無關。

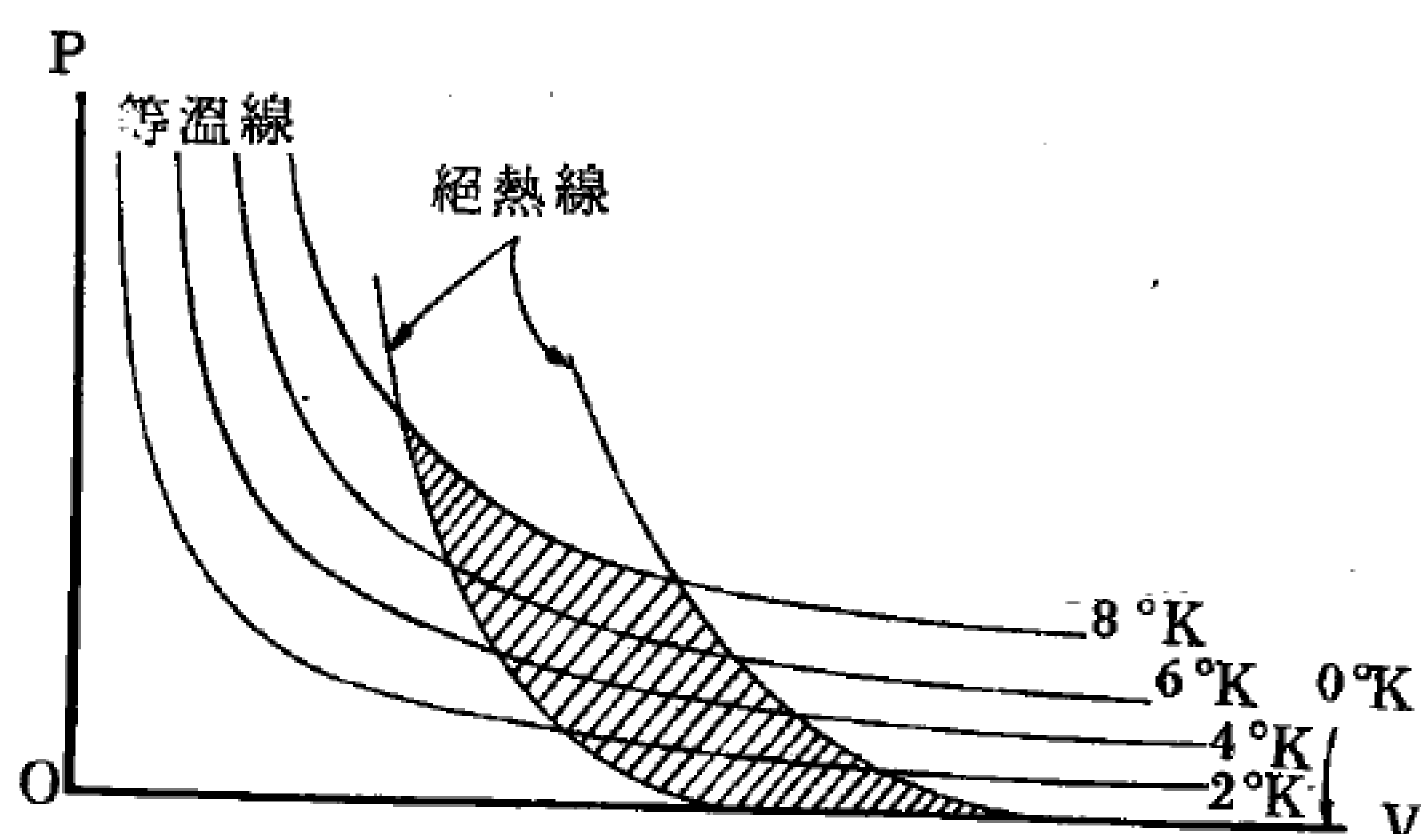


圖 15 — 49
一系列的卡諾循環用以建立熱動溫標，趨於絕對溫度零度。爲清楚計等溫線和絕熱線的斜率之差放大繪出

【熱力學】（ Thermodynamics ）

物理學中的一支。在十九世紀，冉福得（*Rumford*）、德維（*Davy*）、焦耳等人，將熱確定爲能量的一種形式，於是有了熱力學。在初期僅討論系統由一平衡狀態，經改變而至另一平衡狀態的問題，故亦稱爲熱靜學（*thermostatics*）。在到 1850 年，克勞修士（*Clausius*）陳述熱力學第一、第二定律，才爲熱力學奠定了穩固的根基。後經由克耳文（*Kelvin*）、馬克士威（*Maxwell*）等人的繼續發展，到 1873年，吉布士（*Gibbs*）集其大成。

熱力學討論的對象，因係在量子力學發展之先就有了基礎，故論及的系統及所持的理論均出於巨觀的概念，主要在探討熱能與機械功之間的變換。以及在能量移轉時，物質之物理性質之變化。完全沒有參雜及牽涉到討論原子尺度的微觀觀念在內。

【熱力學的基本定律】（ Fundamental laws of thermodynamics ）

通常將熱力學第一及第二定律視作熱力學的基本定律，但有時再增加涅恩斯特定理（*Nernst's law*），當作第三定律。又有時將溫度的存在定律當作第零定律。

【熱力學第一定律】(The first law of thermodynamics)

普通在熱力過程中，一熱力系統的內能變化量ΔU可以寫成

$$\Delta U = W + Q$$

式中W爲外界對此系統所作的機械功，Q爲在熱力過程中供給系統的熱量。這是熱力學第一定律，即是說一個系統之內能改變等於所吸收之熱加上施於系統之外功。

熱力學第一定律僅可視爲對熱Q的定義。因爲內能的定義爲在絕熱過程中，熱力系統所吸收之外界的機械能W_{adi}，即$\Delta U = W_{adi}$，故Q的定義爲

$$Q = W_{adi} - W$$

因此熱可由機械能量度之。我們可以將熱看成是能量的另一種形式，不同於機械能。第一定律也就變成一廣泛意義的能量守恆律。熱可視爲能量的一種形式，因爲它有下列能量的性質：

1. 熱會改變熱力系統的狀態。
2. 熱可經由傳導、對流及輻射傳遞。
3. 在孤立系統中，熱是守恆的。

【熱力學第二定律】(The second law of thermodynamics)

自熱力學第一定律被發現以後，科學家們又注意到：許多自行發生的過程都是單方向的，譬如熱量由高溫流到低溫，液體由高處流到低處，氣體的擴散與混合，其反向過程雖然沒有違反第一定律，卻從來沒有被發現過，可見除了第一定律外，必定還有其他的定則在限制這些過程的發生。

克勞修士 (*Clausius*)、克耳文 (*Kelvin*) 等人，從使熱轉變爲功時所遇到的經驗歸納成熱力學第二定律。依照克耳文和蒲朗克(*Planck*)的說法，這定律可敍述爲：

" 由高溫熱源吸收熱，除使其熱全部變成功以外，在一循環中並不

產生任何其他效應的熱機，是不可能造成的。”

依照克勞修士的表現法，可敍述爲：

“由低溫物體至高溫物體的熱轉移以外，在一循環中並不產生任何其他效應的裝置，是不可能造成的。”

另外又有各種不同的陳述，例如

“不可能造成第二種永恆機關。”

“熱效率爲100%的熱機是不可能造成的。”

“熱傳導、摩擦所產生的熱現象是不可逆的。”

“不需要由外加功而可操作的發冷機是不可能造成的。”

不論何種表現法，我們可以證明其內容彼此相同，其內容不外是主張不可逆變化的存在。

在數學上，這定律可表現爲 $\Delta S > 0$，即

“有熵函數存在，且在自然發生的過程中，系統及環境之熵値的和必定增加。”或“在絕熱變化中熵決不會減少”等形式。熵是熱力學中對“不可利用的能量”的量度。也可視作一種“亂度”的衡量，換句話說，自然進行的過程，永遠朝向具有最大亂度的方向進行。熵函數的存在同時保證了熱力學溫標的存在。

熱力學第二定律本來是巨觀的經驗定律，但是從統計力學立場，可以由力學定律或狀態的躍遷機率等性質導出。

【熱力學第三定律】(The third law of thermodynamics)

又稱爲涅恩斯特熱定理 (*Nernst heat theorem*)。爲德國物理化學家涅恩斯特於1906年所發表的。最初其內容如下：

若物質在氣態，液態及固態各相中，或在其各相間，有因等溫變化而引起的熵變化 ΔS，則在絕對溫度爲零度的極限時，此變化等於零

即 $$\lim_{T \to 0} \Delta S = 0$$

例如，碳（C）在$T=0$時被認爲有石墨和鑽石兩相，而此兩相的熵均等於零。石墨的熵和鑽石的熵爲互相不同的狀態函數，而在$T=0$時是否數值相等，只由熱力學第一、第二定律無法決定，而由第三定律方可決定。

浦朗克進一步再將此定理改述爲：純粹物質的熵，無論何種物質，在絕對零度時均等於零。

另外一個說法是：任何程序不論如何理想，皆無法以有限之操作次數使任何系統降至絕對零度。

【熱力學第零定律】（The zero law of thermodynamics）

如果物系A和物系C處於熱平衡，而且物系B和物系C也處於熱平衡，則物系A和物系B亦必處於熱平衡。此時可定義A和B爲同溫度，若以C爲溫度計，在A和B上檢驗出來的溫度必定相同，此稱爲熱力學第零定律。另一說法是：有一純量稱爲溫度，是所有熱力系統（在平衡狀態）的性質，而溫度相等是熱平衡之必要和充分條件。

【熱力學統計關係】（Statistical relation of thermodynamics）

附屬於系統的物態數Ω，或系統的熵$S=k\,ln\,\Omega$，可視爲某些組巨觀參數（y_1，y_2，…，y_n）的函數。若爲孤立系統，並已達平衡；則由統計假設，能求得在賦予的每一組參數下，機率P與物態數Ω成比例關係：

$$P \propto \Omega$$

但由熵

$$S = k\,ln\Omega$$

得

$$\Omega = exp\,(S/k)$$

故得

$$P \propto exp\,(S/k)$$

式中k爲波茲曼常數（*Boltzmann constant*）。因此，孤立平衡中

的系統，在由熵 S 所描述的情況下出現的機率 P 與熵 S 的關係爲指數關係。

【熱中子】(Thermal neutron)

熱中子又稱慢中子。在常溫下，與周圍環境成熱平衡的中子。這是從核分裂時所放出的高速中子，經緩速劑作用而減速至平均每秒約 2,200 米的中子，此種速率與常溫氣體分子速度相似。所以熱中子具有之平均動能與同一溫度下之理想氣體分子相同爲

$$E_{ave}=\frac{3}{2}kT$$

式中 T 係絕對溫度，k 爲波茲曼常數（ *Boltzmann constant* ）。常溫爲 $25°C$，則有 $T=298°K$，因此

$$E_{ave}=\frac{3}{2}kT=6.17\times10^{-21}J=3.85\times10^{-2}\ eV$$

相當此能量的動量爲

$$p=\sqrt{2m_nE_{ave}}=4.55\times10^{-24}\ m\,kg\ s^{-1}$$

求得熱中子之平均德布洛利（ *De Broglie* ）波長爲

$$\lambda=1.85\times10^{-10}m$$

當中子擊至輕的核，假設未被吸收，它就會反彈回來，並給一部分能量予被打擊的核。被打的核愈輕，帶走的能量比例愈大。連續碰撞幾次後中子的運動能量可以減少到不比原子熱運動的能量大，中子以這種方式被減慢稱爲“常溫化”(*thermalized* ）便成熱中子。

熱中子能輕易地進入複雜的原子核內並促使不穩定，因此它們對產生某些種核變化特別有效。不僅將正常原子改成人工放射性的原子，並且對造成原子核分裂特別有效。一般說來，中子與原子核發生反應的機率取決於核的性質，所討論的特殊變化，和中子的速度，某些特定的速率常常特別有效，就像聲波和光波某些特定的頻率能喚起一物體自然

的反應，並以該頻率振動，這現象叫做共振（*resonance*）。

對熱中子產生的變化作廣泛研究，引導人們發現原子核的分裂，這是對大批釋放核子能量的登峯造極研究的起點，在所有早期以中子轟擊元素的實驗中產生的相當數量的變化裏，造成的新原子或是受轟擊原子的同位素，或是週期表中的近鄰。都是增加或減少一兩個核子的問題，就是這種變化始終參與其中，費米和其他科學家轟擊鈾冀圖製造超鈾元素，並自以爲作到了，可是實驗中有些非常困惑難解的現象，經驗豐富的哈恩（*Hahn*）對放射化學中困難問題竭力研究的結果，和斯特拉斯曼（*Strassmann*）於1939年大戰爆發前數月證明實際上發生的完全是另一回事。鈾原子核並非受一個中子或質子的增加或減少的修飾，事實上是破裂成約略相等的兩部分，此後陸續發現許多的核分裂，生成各種中等質量的原子核，由於這些發現，終於導致原子彈的出現。

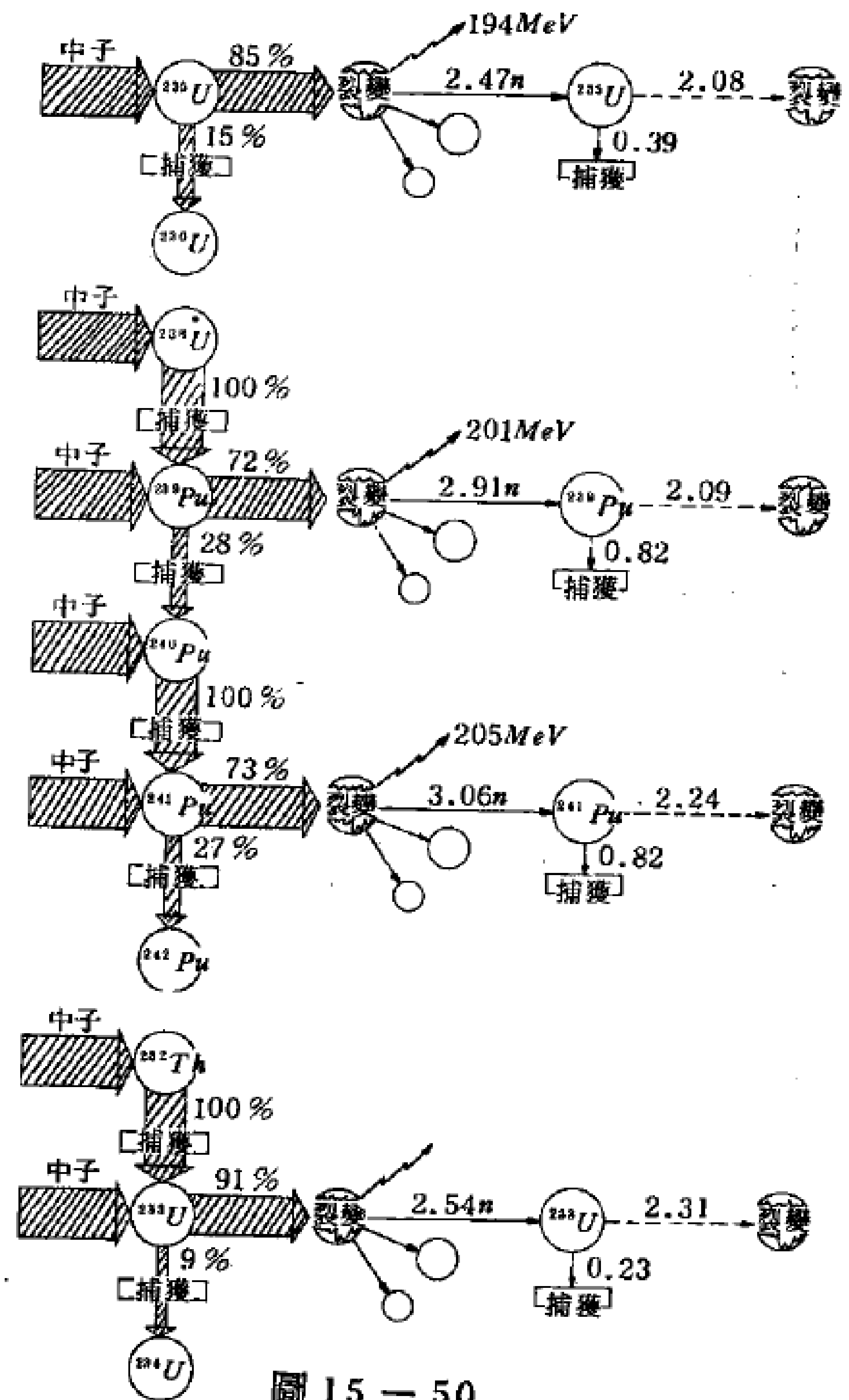


圖 15 — 50 主要可裂變核的捕獲中子性質及被增殖的情形

熱中子鈾、釷及鈽各主要同位素之核子特性

元　　素	同位素	放射性	半衰期(年)	有效截面（*b*）	
				捕　獲	裂　變
鈾（*U*）	233	α	1.6×10^5	52	525
	234	α	2.5×10^5	90	0

	235	α	7.1×10^8	105	580
	238	α	4.5×10^9	2.7	0
釷（*Th*）	232	α	1.4×10^{10}	7.3	0
鈽（*Pu*）	239	α	24,400	315	740
	240	α	6,600	290	0
	241	β	13.2	390	1,010
	242	α	380,000	20	0

【熱之不良導體】（Bad conductor of heat）

當物體與較高溫度物體接觸時，只能將熱量緩緩吸收，且在其自身傳送得很少，以致在離開加熱端極近處，幾無溫度增高之現象。

熱之不良導體是木材、禾草、羊毛、羽毛、紙張、絲綢，尤其是有機物質，這也就是說，由動物或植物世界中產生出來的物質。更不良的導熱體是各種液體，而各種氣體則是最不良導體。在羊毛、皮裘、鴨毛床褥、棉絮、鋸屑等物質中，存在著無數充滿空氣的小孔，可使空氣停滯於該處而不能流動。因此，空氣的對流作用便受到阻礙，以致於實際擔任傳熱作用的只是空氣，而空氣是一種十分不良的傳熱導體。

【熱之作用】（Action of heat）

熱之作用甚大，可使物體之狀態變易，又可作各種功。如固體受熱之作用，則變爲液體；或固體液體受熱之作用，而變爲氣體。又物體受熱則膨脹，而容積增加；固體受熱則易溶解於液體中；化合物受熱，則易化合或分解。同時熱可使物體發生電，可使物體之溫度增高而發光。

【熱之良導體】（Good conductor of heat）

將物體與一較高溫度物體相接觸，能將熱量迅速地吸收，並將此熱量在自身中傳送得很遠，以致離開加熱一端尙有相當距離之處，業已有溫度增高之現象。此種物體稱爲熱之良導體。若與一較低溫度之物體相

接觸時，則熱之良導體要比不良導體冷卻得快。

金屬是最佳的熱之良導體，其次則是礦物、石塊、片岩、玻璃。在金屬彼此之間，仍有相當的差別。銀的導熱性能最優，其次則順序爲銅、鋁、鋅、鎳、鐵、鉛。

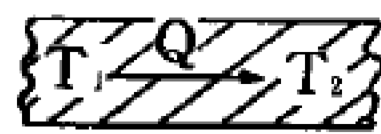
【熱之動力說】(Mechanical theory of heat)

熱爲一種能量，且將此能量之由來，歸源於物質中各分子之運動，是爲熱之動力說。

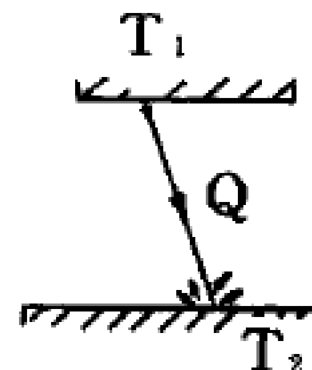
【熱之傳遞】(Transmission of heat)

熱會從高溫處流到低溫處，稱爲熱之傳遞。傳遞的方法，共有傳導(*conduction*)、對流(*convection*)、輻射(*radiation*)三種。

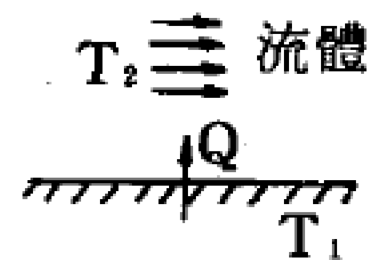
1. 傳導——熱經固體介質而傳播是由分子碰撞而形成。
2. 對流——熱由流體傳播是由分子運動對體積密度之影響而形成。
3. 輻射——不藉介質，直接傳熱是由物體吸收輻射能轉變而來。



傳導



輻射



普通的對流

T_1：高溫　T_2：低溫　Q→：熱傳遞方向

圖 15 — 51　各種熱之傳遞現象

【熱之傳導係數】(Coefficient of thermal conductivity)

定物質傳熱之程度時，可以其物質作厚一公分之板，保持其兩面之溫度於一定，且相差一度，則一秒間從高溫度處通過板上單位面積向低溫度處流入之熱量，謂其物質對於熱之傳導係數。

【熱之輻射】(Radiation of heat)

凡熱不以物質爲媒介，而由熱源直射而來的現象，稱爲輻射。太陽和地球間，除地球表面有空氣附著外，中間完全爲眞空，太陽的熱就由輻射直射到地面上。如在火爐的前面取暖，因空氣非導體，故熱的傳遞

不爲傳導，且空氣是向火爐內流動，故亦非因對流作用。這種得熱的方法，係由熱源直射而來亦爲輻射之一種。

【熱水瓶】(Thermo bottle)

熱水瓶主要部分爲兩層壁的玻璃瓶，如圖 15—52。壁間爲眞空，以防空氣的對流作用；玻璃的內面鍍以銅或銀的薄層，以保輻射作用。如內盛熱水，則內部的熱，不能傳出；倘貯冰塊，則外面的熱，亦不易傳入；故可保持原來溫度至十幾小時。

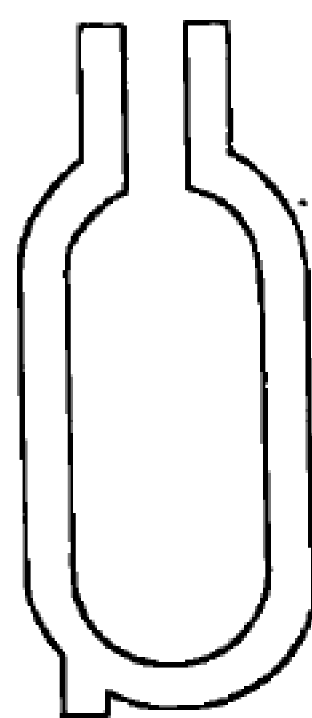


圖 15 — 52

【熱不穩性】(Thermal instability)

爲使流體中發生對流現象的熱度梯度、導熱係數和黏滯性的條件、大氣層的風即爲這種不穩現象的例子。通常若流體會導電，加以磁場會減少這種熱不穩性。

【熱反應器】(Thermal reactor)

利用熱中子來維持分裂鏈反應的反應器，大多數的反應器都是熱反應器。與快中子反應器 (*fast neutron reactor*) 的主要區別，爲快中子反應器並不加入緩速劑。因爲它們燃燒時的燃料，含有人造的大量可分裂同位素。這就增加了快速中子和可分裂同位素間碰撞的或然率，並可達到無需緩和的程度。

【熱功當量】(Mechanical equivalent of heat)

熱功當量是產生同量能量變化的功W與熱Q之比。此值依照熱力學第一定律，可視爲只與功及熱的單位有關的常數。若以爾格測量功，以卡測量熱，則熱功當量等於

$$J = 4.1858 \text{焦耳／卡}$$
$$= 4.1858 \times 10^7 \text{爾格／卡}$$
$$= 777.9 \text{呎磅} / B.T.U.$$

最初作J值的測量爲焦耳。相反地，Q與W之比，即J的倒數，有時也

稱爲功熱當量。

【熱平衡】(Thermal equilibrium)

係在同一物體內，或在可互相作熱交換的幾個物體的各部分間，不發生熱的移動，且沒有相的變化時，稱爲這些物體呈熱平衡。

在一定的空穴空間內有輻射存在時，若包圍空穴的器壁或空穴內的物體之間沒有熱的移動，則同樣稱爲該系統呈熱平衡。

又A和B呈熱平衡，B和C呈熱平衡時，若使A與C直接接觸，則A和C必呈熱平衡。這種情形稱爲熱力學第零定律，作爲溫度存在的基礎。

依照熱力學第二定律，隔離系統的熱平衡狀態可定爲熵是極大的狀態。熱平衡可分爲穩定及似穩定兩種，前者係不因外界的微小刺激而破壞平衡者；後者係可破壞者。過飽和溶液屬於後者，而其熵取極大值，但尙未達到其可能的最大值。

【熱有效質量】(Thermal effective mass)

在處理物理問題時，常在運算方面作些簡化。譬如有時使用一個簡單的模型，而未考慮到幾種實際存在的效應，因此計算得到的結果，雖然對某幾項因數的對應變化很正確，但整個而言，與實驗結果並不十分符合。此時往往只要對其中一項常數予以修正即可，所有忽略的效應，可以用一個與眞正常數略爲不同的另一常數來補足。如果這個常數是質量，則修正後的常數稱之爲有效質量。在計算金屬中電子的比熱時，假設電子是自由電子，因而忽略電子與晶格及電子與電子間的交互作用；這時只要以一個熱有效質量m_{th}代替電子的眞正質是m_e，就可以得到簡單而正確的結果。有效質量和眞實質量的差要看在某種物質中忽略效應重要性的大小而定。以鉀(K)爲例，$m_{th}=1.25\,m_e$，對於銣(Rb)，$m_{th}=1.26m_e$，對於銫(Cs)，$m_{th}=1.43m_e$。從這些值可以看出在鉀金屬中的電子要比在銫金屬中的電子更接近自由

電子的情形。

【熱交換器】(Heat exchanger)

任何能使熱由一種流體(液體或氣體)傳至另一種流體或周圍的裝置。

【熱沉】(Thermal sink)

即熱庫。

參閱“熱庫(*Heat reservoir*)”條。

【熱波】(Heat wave)

比無線電波頻率還高的波動。

【熱空氣機】(Hot - air engine)

熱空氣機的用途僅限於小型馬達,如圖 15 — 53,將氣缸中的空氣交替地加熱、冷卻,則加熱時空氣的膨脹可將活塞推向前方(圖中之右邊),而冷卻時壓力降低,活塞又被外在的大氣壓力推回原位。

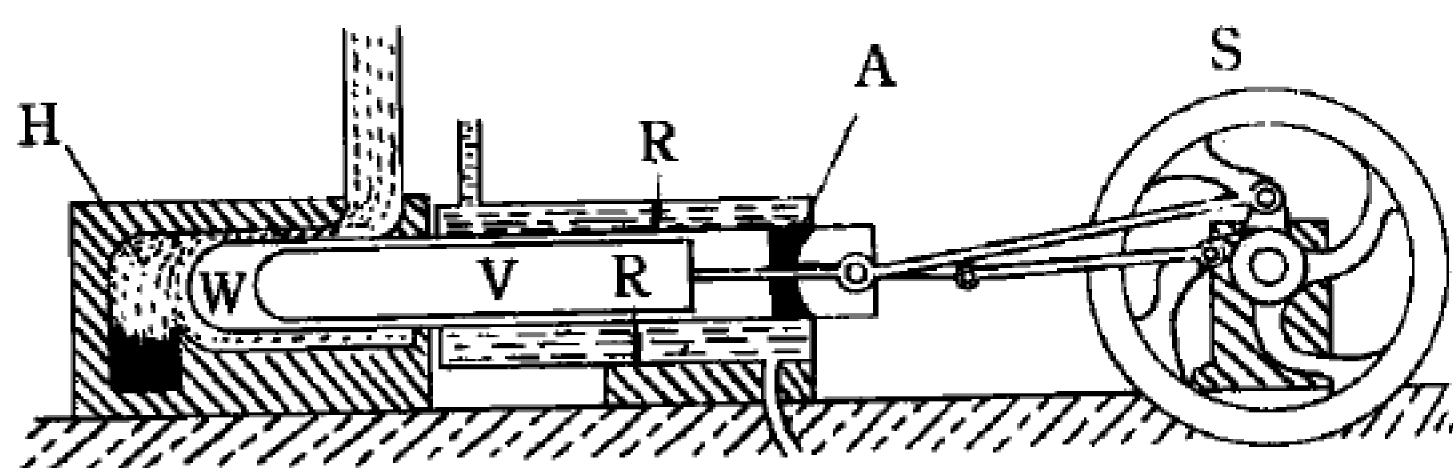


圖 15 — 53 熱空氣機

交替加熱、冷卻的辦法是:將氣缸的一半圍以火盒(*fire box*) *H*,另一半環以冷水套 *R*;圖中之變位器(*displacer*) *V*,係一中空的封閉金屬圓柱,其大小爲氣缸容積的一半,但外徑較氣缸的內徑稍小,故空氣可在氣缸壁與變位器之間流通。當變位器位於氣缸中的低溫部分時,空氣會進入氣缸的高溫部分(圖中之 *W*),並因體積膨脹而將密接於氣缸內壁的活塞 *A* 推出。如將變位器置於氣缸的高溫部分,則空氣即進入其低溫部分而冷卻,活塞遂又復回原位。活塞桿係經由一連桿與飛輪相連,連桿之作用是將活塞之往復運動變成飛輪的轉動,變位器桿則係於穿經活塞後再經一連桿與飛輪相連,

故可由於飛輪的轉動而自動的前後推移。很顯然的，在技術上所能達到的範圍之內，無法充分提高熱空氣機內的空氣壓力，因此引擎的體積與其功率比起來顯的太大了，這是熱空氣機的最大缺點。

【熱阻體】(Thermistor)

爲一種對溫度變化十分敏感的電阻器。半導體的電阻能隨冷熱而顯著變化，熱阻體就是利用半導體這種特性製成的。

在一般情況下，半導體物質每立方厘米的電阻約在 10^{-1} 至 10^{9} 歐姆之間，但受熱以後，其電子運動加速，電阻隨之減小，我們稱之爲具有負溫度係數，已知銅、鎳、錳等合金皆屬此類。

熱阻體用途甚爲廣泛，在工業上如溫度控制與水位控制等等。可作精密溫度計來測量微小物體的溫度，通常有三種應用方式：

1. 外在作用——利用熱阻體外殼之周圍溫度變化，測量空氣與水的溫度。

2. 內在作用———電流通過熱阻體所產生的溫度變更，測量電路中的各項數值。

3. 非直接作用——利用線圈圍繞熱阻體，以溫度作用而獲得控制電路效果。

【熱柱】(Thermal column)

研究用反應器裏供給實驗用熱中子的槽，由大量的緩速劑組成，置放在核心或反射體旁，中子從反應器進入熱柱減速爲熱中子 (速度爲每秒 2,200米) 。

【熱室】(Hot cell)

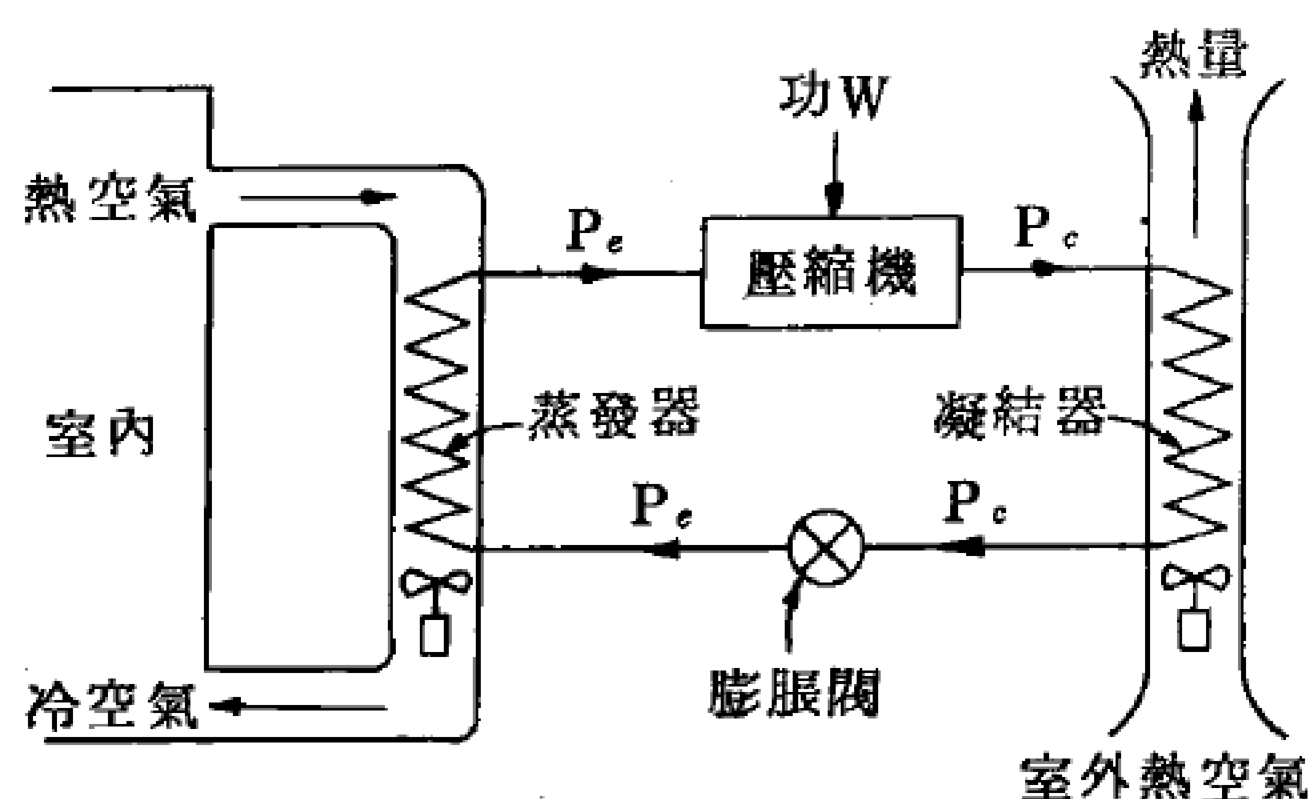
一種有厚屏蔽的封閉室，工作人員可利用操作器處理放射材料，並由屏蔽窗或潛望鏡觀看操作情形。

【熱泵】(Heat pump)

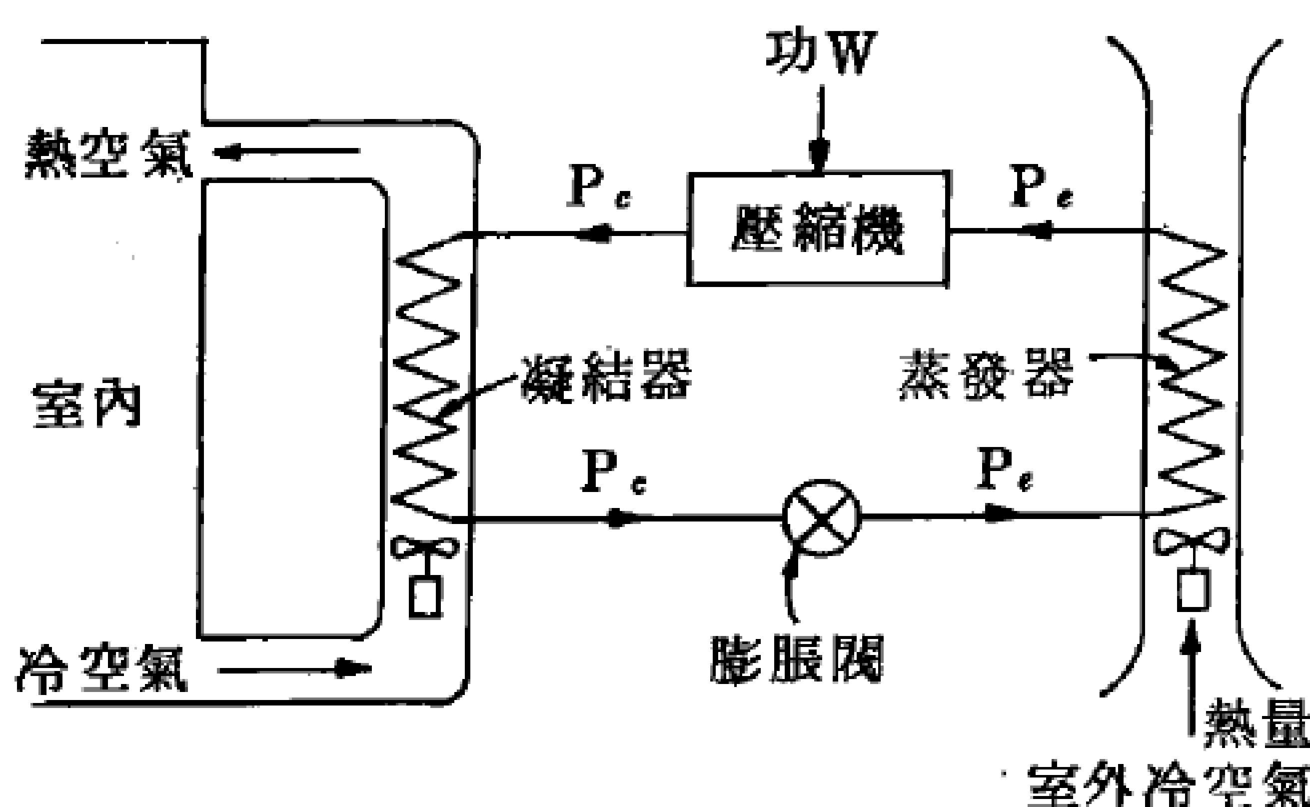
所謂熱泵，便是一組設備系統，在夏天能從室內空氣抽取熱量排到

室外，達成冷氣機的效果；而在冬天時又能從室外抽取熱量送到室內，而作暖氣機使用，其構造如圖所示。

夏天時，整套設備的運作就如同一般的冷凍機，將室內空氣吹經一組蒸發器的盤管，由於物質蒸發時要從外界吸收熱量，因此經過這些盤管後的空氣損失了熱量而降低溫度，由蒸發器所吸收的熱量和由壓縮機所施之功，則經由一個氣冷式凝結器排出室外。



(a)夏季冷卻循環



(b)冬季加熱循環

圖 15 — 54　熱泵的冷卻和加熱循環

多天時，則利用可控制的膨脹閥將整個循環倒轉過來，於是在夏天時作蒸發器的盤管現在變成凝結器，而凝結器變成蒸發器，於是蒸發器從室外空氣吸取的熱量加上壓縮機所作的功，便被送入室內，整個循環成了一套暖氣機。

【熱能】(Thermal energy)

熱也是能量的一種，具可轉換成其他形式的能量，故稱熱能。

【熱庫】(Heat reservior)

假設有個系統與質量很大的物體，作良好的熱接觸，而且進行一個準靜態過程（ *quasi-static process* ）。假如那環境物體的質量夠大，這過程中有限量的熱流，不會使它的溫度產生可察覺的變化。舉個例

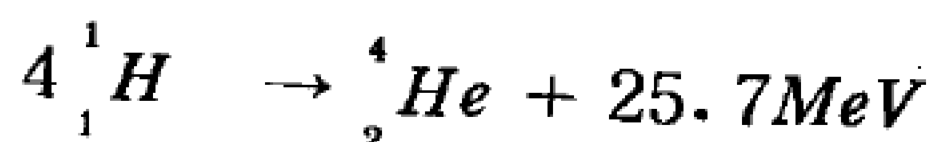
說，把尋常大小的冰塊投入海中，並不會使海水溫度降低。再者，流入室外空氣的尋常熱流，也不致於使氣溫上升。海洋和室外大氣，就是熱庫的理想物體之近似例。所謂熱庫，就是質量大得可以吸收或釋出無限量的熱，而不致使溫度或其他熱力學坐標發生可察覺之變化的物體。有限量的熱之流入流出，而使熱庫的熱力學坐標發生的變化是有的，但是太小以致無法測出。換句話說，熱庫中任何小質量單元的物理性質之變化是無限小的，但是熱庫中有無限多個此等質量單元。

【熱核反應】(Thermonuclear reaction)

熱核反應是在高溫下將兩個輕原子核熔合成較重的原子核，而釋放出大量能量的核熔合反應。

在攝氏百萬度以上的高溫，所有的原子均完全游離，原子中所擁有的電子全部跑了出去，而剩下的只是原子核。在如此高溫下原子核因熱運動(*thermal motion*)所獲之高速，可突破原子核間的電斥力。當兩原子核相撞時由於原子核本身的直接接觸而產生各種的核熔合反應，並發放出許多的能量。太陽的能量及許多其他星球上所產生的能量均源於此種反應。

宇宙中主要的熱核反應是將 4 個氫原子核熔合成一個氦原子核，其反應式為：



$$4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 25.7MeV$$

這種熱核反應需要在極高的溫度下始可進行。在太陽的中心溫度高達約二千萬度，這項反應的進行還是十分緩慢的，反應所釋放的能量還不及 10^{-5} 卡/克一秒。這也就是太陽為什麼能經年放光放熱的緣故。如果反應速度太高，太陽早就爆炸而消滅了。

如果能將熔合反應中釋放的能量加以成功的利用，對人類文明將有難以想像的益處。如能將海中的氘熔合，所得到的能量將較世界上一切傳統燃料(煤、石油等)燃燒能量的總和大十億倍，同時這種能量還可

供世界使用達一百萬年之久。目前，地球上能得到的熔合能唯有自氫彈爆炸中產生，但這種能量卻不能控制，無法利用。因此熔合反應所得的能量除用於爆炸的目的外，無法用作可資利用的能源。

【熱核控制熔合】(Controlled thermonuclear fusion)

是將完全離子化離子體予以禁制，其離子密度爲每立方厘米 10^{14} 至 10^{16} 個粒子，溫度爲 10^{4} 至 10^{6} 電子伏特，此反應最合用的離子是氘，或者混合若干氚。因二離子間庫侖 (*Coulomb*) 碰撞的碰撞截面大於熔合反應的截面，所以每次熔合碰撞總要經過很多次的彈性碰撞，粒子能量定是散亂分佈。因之，實用的熔合反應器有在上述極高溫度的完全散亂熱離子體。

【熱效率】(Thermal efficiency)

動力發電廠產生的電力與其燃料所產生的總熱量的比值；這是度量電廠轉換熱能爲電能的效率。

$$\text{熱效率} = \frac{\text{加入之熱} - \text{放出之熱}}{\text{加入之熱}} = \frac{\text{產生功的熱量}}{\text{所耗的總熱量}}$$

【熱容量】(Heat capacity)

一定質量之不同物體，使之升高一定溫度所需之熱量各不相同，供給物體之熱量 ΔQ ，與其對應之溫度上升 ΔT 之比，稱爲該物體之熱容量 C ，即

$$C\ (\text{熱容量}) = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{dQ}{dT}$$

因爲系統所能吸收的熱量依過程而定，每一種過程就有一個熱容量，用得最廣的是定壓熱容量 C_P 和定容熱容量 C_V，其定義爲

$$C_P = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_P \qquad C_V = \left(\frac{dQ}{dT}\right)_V$$

在所有物質，C_P 都比 C_V 大 這是因爲體積一定時，所有吸收的熱都儲存爲內能了，但在壓力一定時，尚需供給額外的熱來抵銷系統所作

的功。

單位質量的熱容量即稱爲比熱，又熱容量隨著溫度的變化區間而略有不同，但效應不大，只有在極低溫時方較明顯。

【熱射線】(Heat ray)

電磁波譜中頻率在 $10^{12} \sim 10^{14}$ 的射線，能夠傳播熱能產生熱效應，所以稱爲熱射線，熱射線之本質與物體溫度之本質，根本上是不同的。熱射線本身並不是一種熱，只不過是載送熱量而已。熱射線與熱之間的關係，像無線電波將音樂演奏播送過海洋；如同音樂演奏之在廣播收音機中發音一樣。熱量也只有在熱射線吸收體中，才能發生出來；亦即只有當物體吸收到放送過來的熱射線之後，才能在該物體中產生熱量。凡是沒有物體存在著的地方，熱射線也就無法產生熱量。太陽的射線滿佈在太空中，但卻不會將太空加熱。因此，“熱之輻射”這一名詞，似乎頗有語病。因爲在輻射的時候，並無熱效應之產生。一直要到熱射線碰到某一阻擋它的物質的時候，“熱之輻射”才會把熱的功效顯示出來。反之，如果某一物質並不阻擋輻射線而是讓它通過的話，則該物質就很少會發熱，如同該物質讓光線通過時，很少會發光一樣。

【熱屏】(Thermal shield)

在反應器壓力容器的內壁或容器和生物屏蔽之間常有一層或數層高密度的材料，來減低容器和生物屏蔽層之輻射熱。

【熱帶性低氣壓】(Tropical low atmospheric pressure)

發生於熱帶的低氣壓。它和溫帶低氣壓不同，沒有鋒面。熱帶低氣壓發達而形成者，各地的說法不一，例如，北太平洋西部，叫做颱風。

【熱動學】(Thermodynamics)

即熱力學。

參閱“熱力學(*Thermodynamics*)”條。

【熱陰極】(Hot cathode)

必須供熱然後有電子放射的陰極，剛與冷陰極相反。

熱陰極又分為直接加熱式（*directly heated type*）與間接加熱式（*indirectly heated type*）。直接加熱式絲極形狀如圖 15—55 (*a*)，所用金屬為純鎢或釷-鎢合金(*Thoriated-Tungsten alloy*)，或用氧化膜之鎳合金。直接加熱式絲極所需電功率非常小，專為蓄電池供電之眞空管用。

間接加熱式構造如圖 15—55 (*b*)，發熱器（*heater*）用放射物質之金屬圓筒圍繞發熱器四周，發熱器用鎢合金，並以氧化鋁（*Aluminum Oxide*）為發熱器絕緣表面。間接加熱式陰極材料為鎳或鎳合金，或一種包括鎳鈷、鐵及鈦成分的合金。

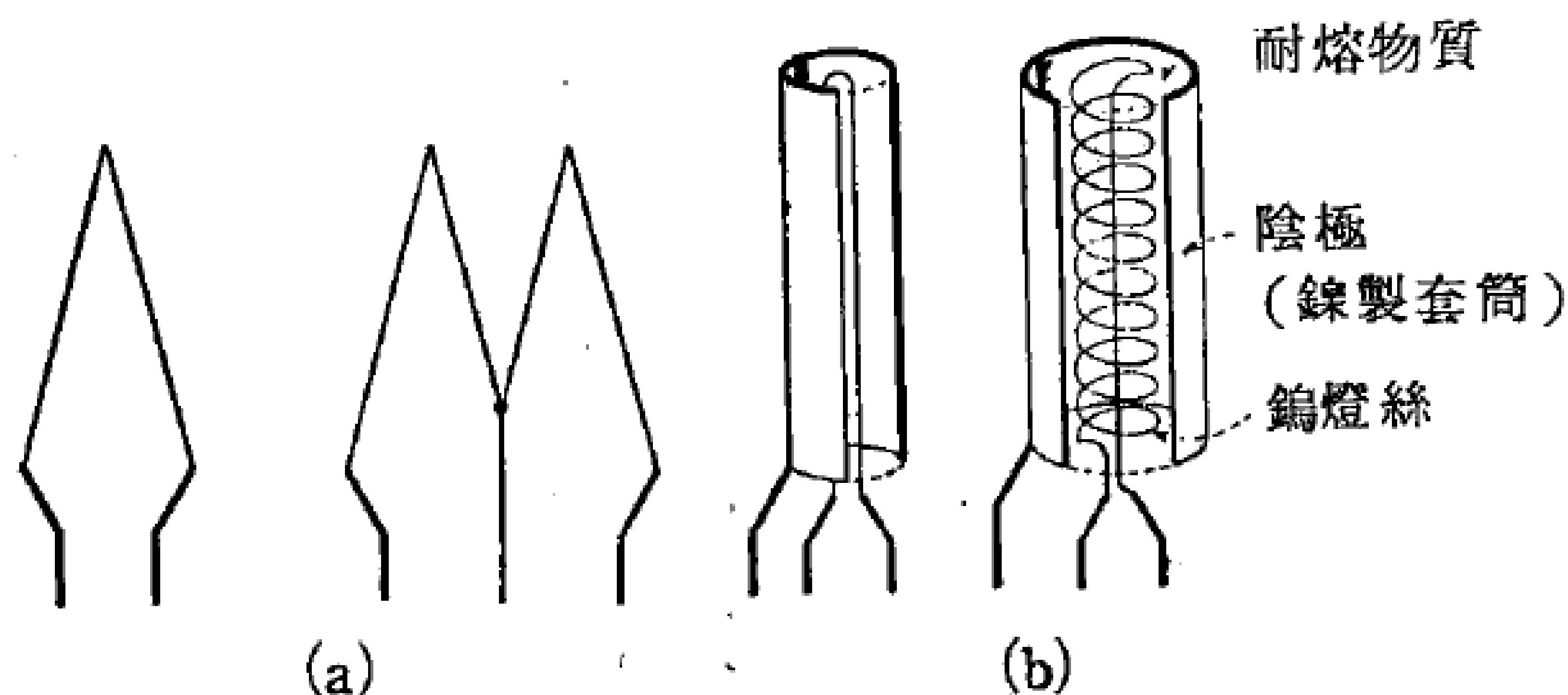


圖 15 — 55

間接加熱式眞空管專為供交流電所設計，但亦可由直流電供給。間接加熱式是燈絲專供熱能，陰極則以放射電子。間接加熱式的優點有下列數點：

1. 雖交流電供給，但陰極的溫度較為恆定，不受交流電的起伏，造成溫度不平均之弊。因具有溫度緩衝作用，對於交流電所生之哼擾聲（*hum*）減低至最小。

2. 間接加熱式燈絲與陰極之絕緣，對於陰極任何電位，能獲得保護作用。

3. 可容許陰極與其他電極之空間非常小，如此對於整流管而言，其內阻必小，因此可以降低其兩端間之電位降落。而對於放大管，可以有較高之放大係數 μ 值。

【熱量】(Quantity of heat)

熱旣是能量的一種，當然也有量；熱量爲物體中含熱之量，亦卽組成物質的分子動能之總和。凡物體所含熱量增多，溫度卽升高；熱量減少，溫度就降低。

熱量與物體的質量成正比，與溫度的意義不同。同溫度的物體其含熱量不盡相同。例如一大杯水和一小杯水，若其溫度相同，熱量就不等，因爲熱量和質量是成正比例的。故以等量的熱加於質量相等的各物質，其溫度之增加不盡相同。

熱量的單位在 *C.G.S.*制是卡，爲一克純水自 14.5°*C*升至 15.5°*C*所需的熱量。實用上以 1,000 卡定爲一大卡，或名仟卡。在英制單位是 *B.T.U.*，爲使 1 磅水升高 1°*F* 所需的熱量

$$1\ B.T.U. = 252\ 卡$$

【熱量計】(Calorimeter)

或稱卡計，爲測量熱量所用的裝置。利用這種裝置可以測量物質的比熱、熔解熱或汽化熱等。最簡單者如圖 15－56(*a*)所示，由紅銅製圓柱容器、攪拌器、溫度計及一木盒而成。爲防止熱自銅容器逃逸，儘量減少與木盒的接觸處面積，或在盒與銅器之間塡入羽毛、木棉或普利龍等隔熱物質。攪拌器用以使銅器內的液體溫度均勻，這是混合法。

又有一種稱爲本生 (*Bunsen*) 冰卡計，如圖 15－56(*b*)所示，測量冰吸熱而熔解爲水時的體積減少，以算出所吸收的熱量，這是冰熔解法。

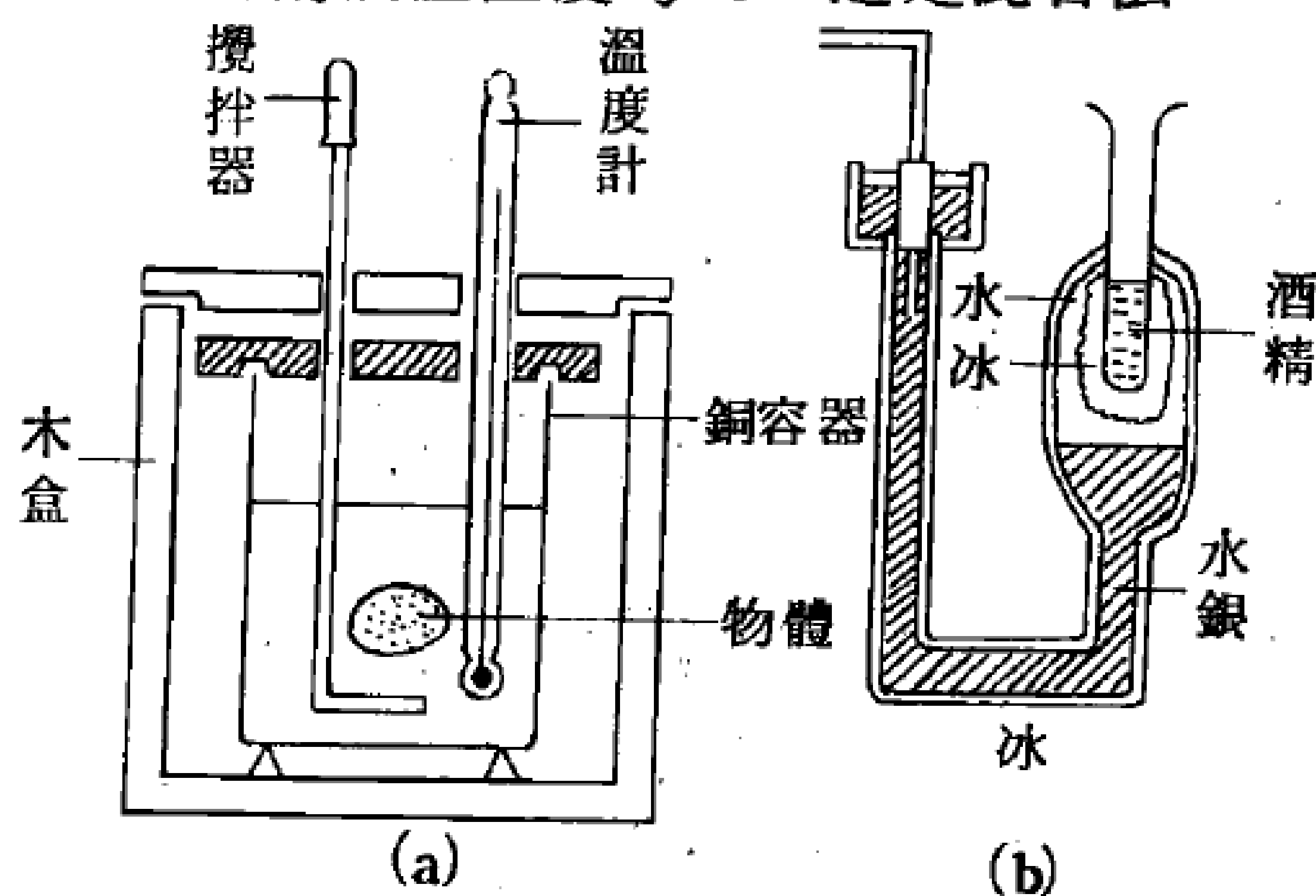


圖 15 — 56

【熱絕緣】(Thermal insulation)

設兩系統，在擴延變數保持著不變的情況下，彼此之間不發生熱作用而未能產生能量的交換，則此兩系統互為熱絕緣。將兩系統在空間分開至甚大的距離，或由甚厚的物質（如石棉、玻璃絲等）將兩系統隔離都能達到熱絕緣的效果。在熱絕緣的情況下，若擴延變數不改變，則原來處於熱平衡的系統將繼續保持平衡。一系統在與其他系統熱絕緣的情況下進行一過程，則此過程稱為此系統的絕熱過程（*adiabatic process*）。

【熱電序】（Thermo - electric series）

各種金屬之熱電性質次序如下：鉍（*Bi*）、鉑（*Pt*）、銅（*Cu*）、鉛（*Pb*）、錫（*Sn*）、金（*Au*）、銀（*Ag*）、鋅（*Zn*）、鐵（*Fe*）、銻（*Sb*）。

在此順序上任何二金屬，接合一處，其接觸處加以高熱，則上位之金屬中有電流流向下位之金屬，如二金屬在此順序中相距愈遠，則所生之熱電壓愈大。

【熱電流】（Thermo - electric current）

以二種不同金屬相接合成一電路，使兩接點處產生溫度差，該電路即有電流，此電流稱為熱電流，其電勢稱為熱電勢。

例如以鉍（*Bi*）及銻（*Sb*）二種金屬相接合，於其中央置一磁針，令此器與地磁之子午面一致，靜置之，熱其接合點之一，則磁針迴轉，由是可知發生電流。其電流之方向，恆從被熱之鉍向被熱之銻流，此器之兩接合點之溫度差，若為一度時，其電動勢約為0.0001伏特（*volt*）。

【熱電效應】（Thermo - electric effect）

若無磁場和其他影響，熱流和電流都與溫度梯度及電場有線性關係。如以$\vec{E}$表電場強度，T表絕對溫度，則：

$$\vec{J} = L_{EE}\vec{E} + L_{ET}\nabla T$$

$$\vec{U} = L_{TE}\vec{E} + L_{TT}\nabla T$$

式中 L_{EE}、L_{ET}、L_{TE} 和 L_{TT} 都是張量，對立方晶體而言，他們都是純量。故溫度不勻時亦能產生電流，就像電位不勻能在導體中生成電流發熱一樣。這種現象稱爲熱電效應。例如則白克效應(*Seebeck's effect*)、湯木生效應(*Thomson's effect*)及帕耳帖效應(*Peltier's effect*)都是熱電效應。簡而言之，一般的熱電效應可以用兩端化學位能不同，因而產生電流解釋之。

【熱電堆】(Thermopile)

以二種金屬導體相間接合，而將其兩端用一導線連之，令二、四等偶數之接合部與周圍之溫度相同，而熱其一、三、五等奇數接合部，則導線上有電流流通。此種裝置叫熱電堆或溫差電堆，如圖 15—57。若將電流計連於熱電堆之電路內，則見其指針傾斜，若加熱偶數接合部，則生與前方向相反之電流。由電流計所示之電流強度，可測知兩接合部溫度之差，溫度之差小時，溫度之差與其電動勢成正比例。利用此理，可用熱電堆測極微小之溫度差，感度銳敏之熱電堆，可測至千分之一度之溫度差。

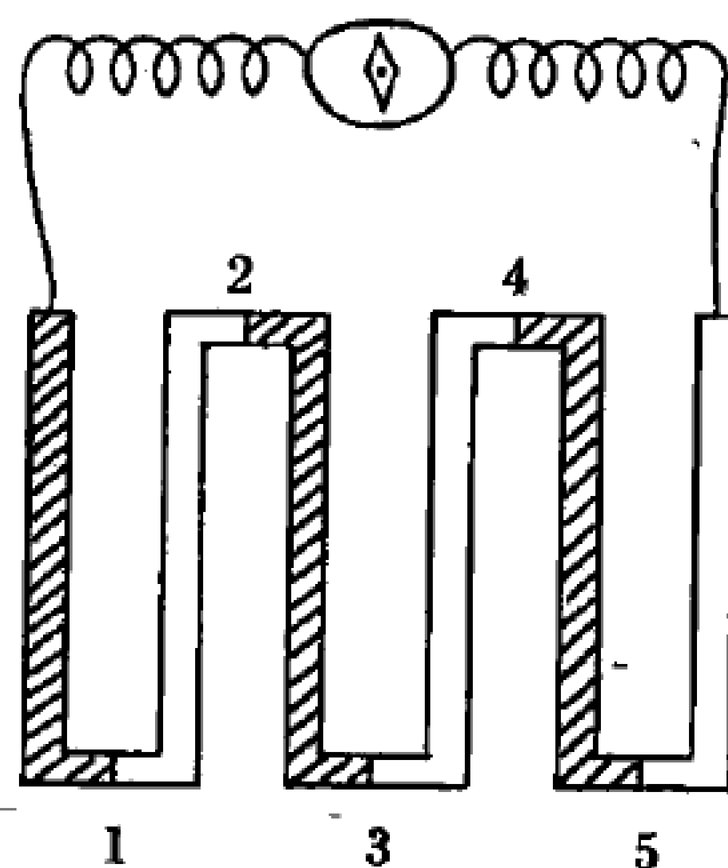


圖 15—57

又此二種金屬所接合之組數愈多，則電流愈強，因其電動勢與熱電堆之組數成正比例。

【熱電偶】(Thermo-electric couple)

圖 15—58 中之閉合線路 ABA，係由不同金屬製造之兩條導線 a、b 接合而成。A 與 B 爲接頭，兩導線的全長是完全均齊的；也就是說，用來製造導線的金屬之成分和結構是到處一樣的。此種由兩種不同金屬線組成之閉合線路，稱爲熱電

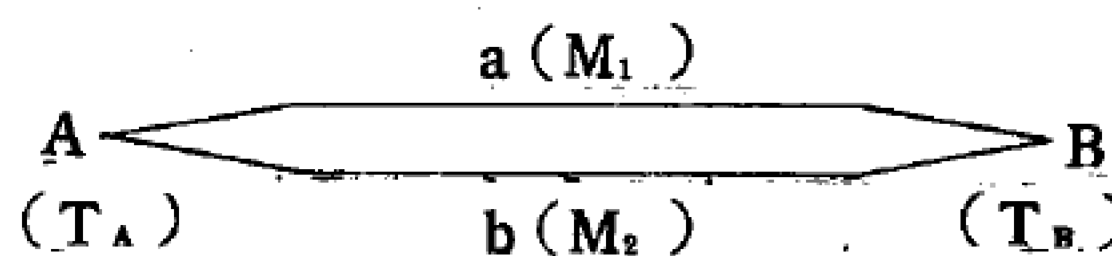


圖 15—58 熱電偶原理

偶。如將接點A加熱，以使之與接點B的溫度不同，則閉合線路中便會有一電流通過，後者係由一稱爲熱電勢的電動勢所引起。如A與B之溫度相同，則熱電勢無由發生，當然也就沒有電流通過了。熱電勢之大小與金屬M_1和M_2之選擇有關；對於某一對固定的金屬線（熱電偶）而言，復與兩接點的溫度差有關。此一現象是則白克（*Seebeck*）在 1821 年發現的，故稱爲則白克效應（*Seebeck's effect*）。

爲了量度熱電勢的大小，可將電路在某點（例如B點）切斷，並在該處接入一極爲靈敏的伏特計（V），如圖 15 — 59所示。通常接點A之溫度與待測之溫度相同，稱爲主接點。第二接點所在之溫度則是所謂參考溫度。因爲我們所要量的是溫度差，故第二接點此時係由儀器的接線柱B_1、B_2，與導線a、b的端點組成。如B_1、B_2之溫度(室溫)及組成相同，則其效果也應相同；換句話說，此種情形就跟a、b兩導線直接相聯是完全一樣的。

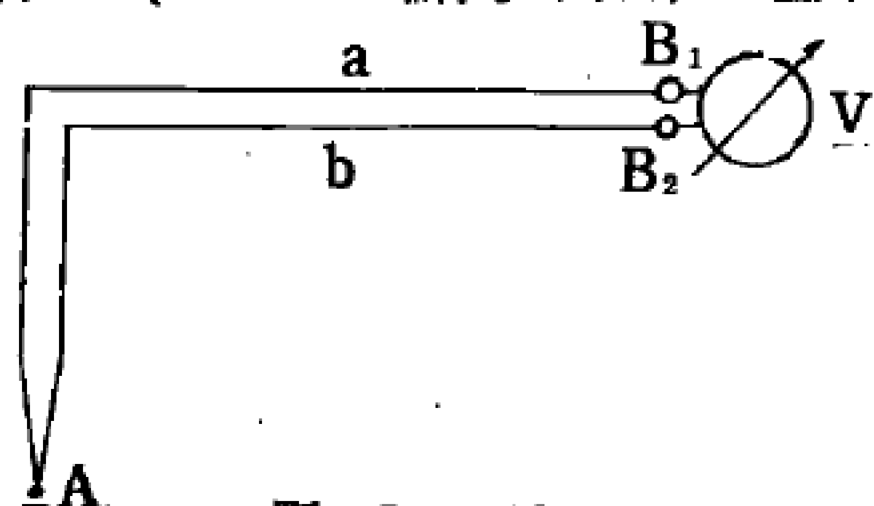


圖 15 — 59
接有伏特計的簡單熱電偶

爲使溫度測量的結果更加精確起見，通常多將熱電偶之第二接點B保持原狀，而將儀器接入a或b中，如圖 15 — 60所示。接點A仍同於待測溫度，接點B（副接點）則浸入盛有溶融的冰塊的桶子裏(0°C)。此時室溫是已知的；但儀器的兩個接線柱的溫度則非相同不可。

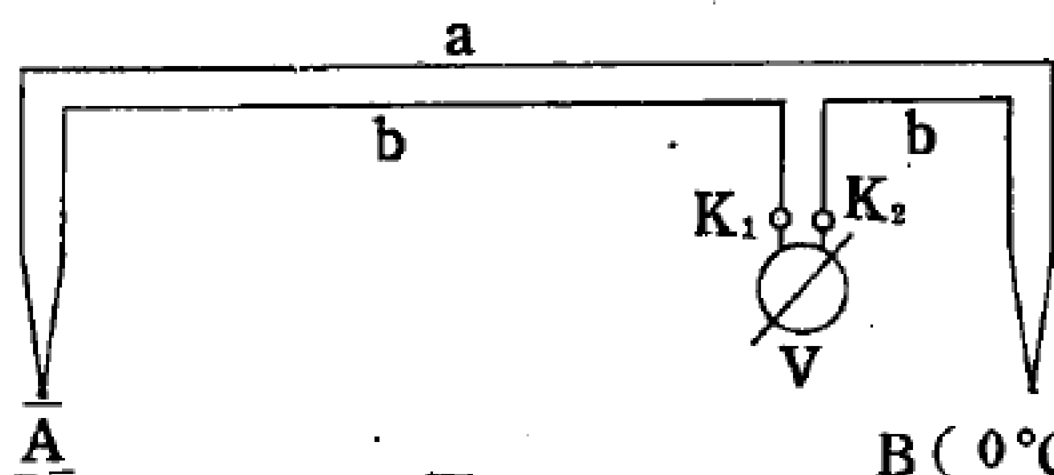


圖 15 — 60
副接點保持在0°C的熱電偶

常用之熱電偶有如下數種：鉑/鉑銠（ 0.64mV ），鎳/鉻鎳（ 3.85mV ），康銅/鐵（5.40 mV ），康銅/銅（ 4.28mV ）。括弧中之數字代表各該熱電偶之主接點$A = 100°C$副接點$B = 0°C$時之熱電勢。上述熱電偶之應用範圍約爲 1,700 ～ 400°C，係隨所用材料之種類而異。

每當電路中有不同的金屬互相接觸且接觸點之溫度不同時，總會有熱電勢生成。在這種情形下測定電路中甚小之電壓或電流時，應當將熱電勢造成的相當大的誤差考慮進去。

自從則白克發現熱電流的效應後，諾比里（*L.Nobili*）在1830年設計了第一個熱電堆，他組合這熱電堆和一個靈敏的電流計，得到一個非常有用的紅外線檢波器。則白克在很早就發現一種最好的金屬組合，即鉍和銻。早期的熱電堆，用很多的接合部聯在一起，以獲得多倍的輸出電壓。事實上熱電堆的惟一好處，只是它的高電阻以及它和電流計較佳之阻抗配比。因爲在週期性的輻射和交流電的放大情況下，使用變壓器就可容易地得到阻抗配比，故現在熱電偶通常只包含一個接頭。

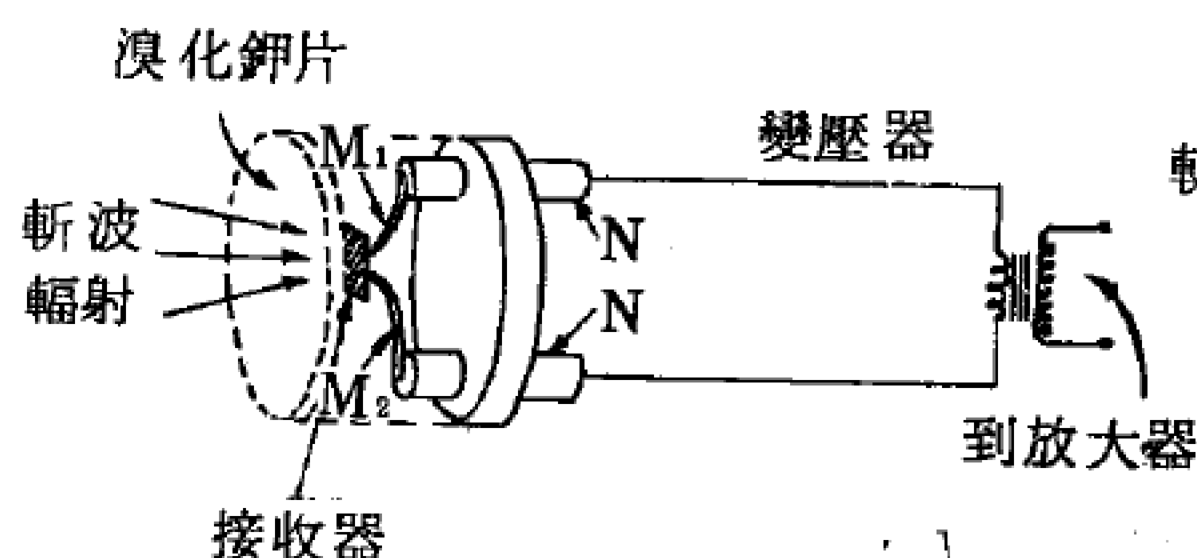


圖 15 — 61　線型熱電偶

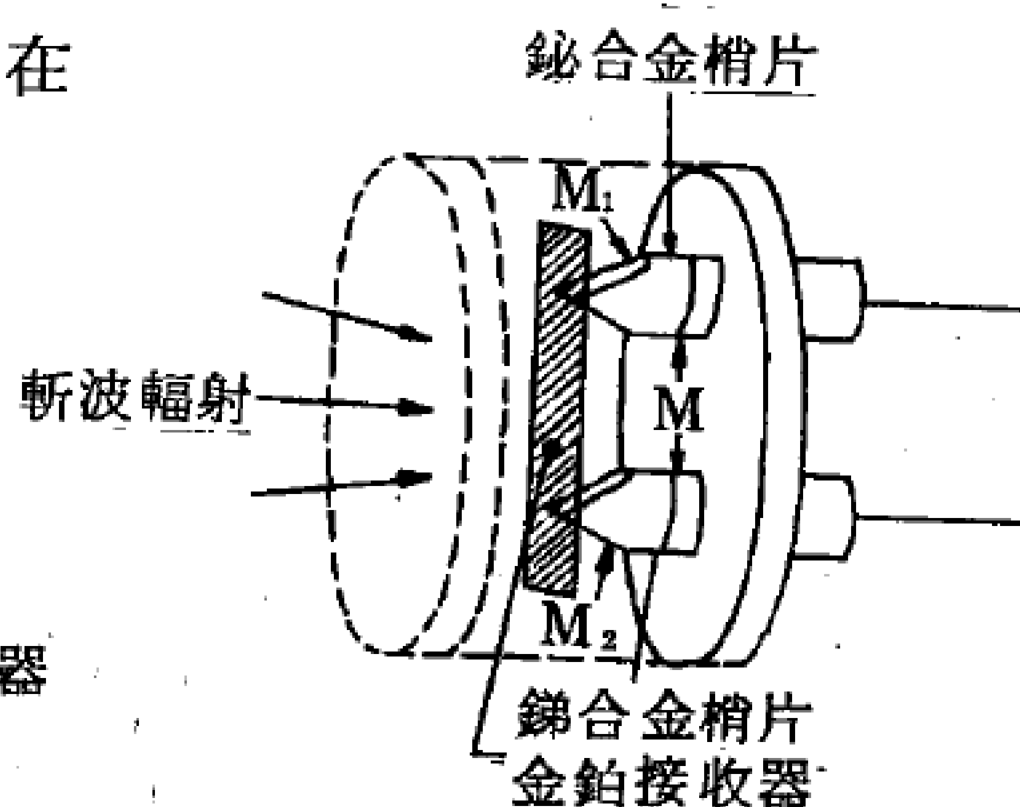


圖 15 — 62
梢型熱電偶（pin type）

圖 15 — 61表示一個用精細線所做成的典型熱電偶檢波器。另一種通用的熱電偶則在圖 15 — 62示之。線或梢（M_1 和M_2）是用特別的熱電合金（鉍 - 鋅和銻 - 鎘）做成，端點和其他電路則用銅做成。在線型熱電偶中（圖 15 — 61），黑體吸收器和焊接接合部連結。在梢型熱電偶中，黑色金鉑接收器，則做爲M_1 、M_2 間的聯結。在金屬M_1 、M_2 和底端金屬M之間之“冷”接合部，須將它保持著周圍的溫度，而“熱”接合部則被輻射所加熱。“熱”和“冷”接合間的溫度差ΔT，與熱電壓成正比例

$$V = s\Delta T \tag{1}$$

這裏，s 表示所謂的熱電功率。習慣上，我們以鉛爲標準，然後比較別種金屬和鉛的熱電功率，列出各種不同的值，其單位爲毫伏特／°C 。最佳的輻射熱電偶組成之一，是 97％鉍、3％銻及 75％鉍、25％錫。這些合金的熱電功率各爲－75％毫伏特／°C和＋112毫伏特／°C，所以此偶極每相差 $\Delta T = 1\,°C$ 會產生 187毫伏特的電壓。

當輻射功率通量W瓦特／平方厘米射到面積爲A之接收器時，它所升高之溫度，是以穩定狀態下，流失到周圍熱量的速率來決定。有三種能量漏失的途徑：輻射、空氣中的傳導，以及在熱電偶線內的傳導。綜合這些過程，以一個相當熱電導G來表示，G被定義如下式中的比例常數

$$WA = G\Delta T \qquad (2)$$

這個簡單的線性關係（牛頓冷卻定律）對微小的ΔT是有效的，而且我們知道，對於輻射熱電偶，它的溫度差通常不超過幾個毫度（攝氏）。因爲對於一定的熱通量，我們希望獲得最大的ΔT，故常試著使G達到最小。熱量在空氣中的漏失，很容易防止，只要抽出熱電偶內之氣體就行。其他兩種熱量漏失的途徑（輻射和金屬內的傳導），則不易被消除。輻射電導是 $G_r = 4\sigma\epsilon AT^3$

式中，$\epsilon = \frac{1}{2}(\epsilon_f + f_b)$ 是面積爲A之接收器，前、後兩面的放射度。而金屬線的電導則爲 $G_c = Ka/l$

K是金屬的傳導係數，a是截面積，l是金屬的長度。因爲電導是互相平行，其總電導爲 $G = G_r + G_c^{(1)} + G_c^{(2)}$，括弧(1)、(2)，各表示熱電偶中之兩條金屬線。

從（1）和（2）式，我們可得到熱電偶的反應度，即檢波器產生的電壓和它所吸收輻射功率的比值

$$r_o = V/WA = s/G \qquad (3)$$

此式中，V是指熱電偶的斷路電壓。當熱電偶輸送電流到一個電阻擔負

，而考慮到熱電偶線的電壓降時，我們亦可得到一個類似的結果。此外，我們尚須對電流經接合部所引起的冷卻〔帕耳帖效應（ *Peltier's effect* ）〕做一些校正。

由實驗得知，當輻射和傳導的熱電導相等時，可得到最佳的熱電偶組成。假設 $G_c^{(1)} = G_c^{(2)}$ ，我們得到

$$r_o = sl / 4K_a$$

這結果告訴我們，在連續輻射的穩定狀態下，如何獲得較高之反應度。

當熱電偶要測迅速改變的輻射信號，例如使用斬波輻射時，則情況又不同了。對頻率 $\omega = 2\pi f$ 的週期性信號而言，反應度 $r(\omega)$ 比直流反應度 r_o 小，且發現某比例為 $(1+\omega^2\tau^2)^{-\frac{1}{2}}$ ，即

$$r(\omega) = r_o (1+\omega^2\tau^2)^{-\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

$\tau = C / G$ 叫做熱反應度的時間常數，C 則是熱電偶的熱容量。（4）式作如圖 15—63所示，從圖上可明顯看出，在頻率 $\omega = \frac{1}{\tau} = \frac{G}{C}$ 時，反應度降到 70 %左右，當頻率增為十倍時，則只剩 3 %。為了在高頻率時，仍能得到理想的高反應，我們必須使時間常數儘可能的小，也就是使熱容量 C 小，或者電導 G 變大。然而，從（3）式中可知，大的 G 值將得較小的直流反應度，因此，我們要取其折衷，以得最大的好處。

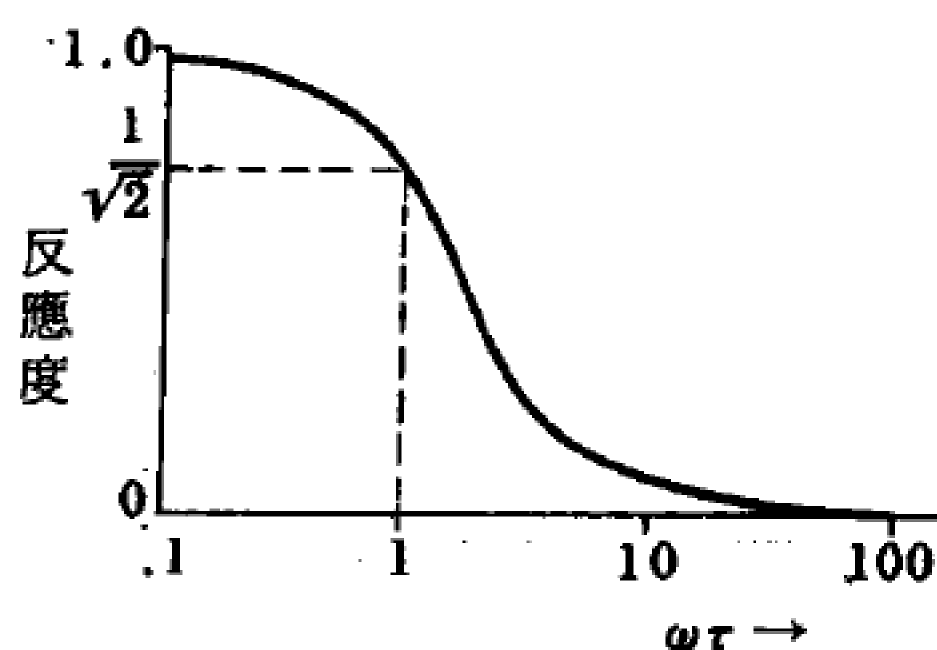


圖 15 — 63
在斬波頻率 ω 時，熱電偶反應度的遞降，τ 是時間常數

目前最好的熱電偶，其反應度在 2 和 20 伏特／瓦特之間，*NEP* 的數量級約在 10^{-10} 瓦特（對 1 週／秒 - 頻帶寬），接收器的表面積約為一平方毫米，而電阻則在 10 到 100 歐姆之間。熱電偶在實驗室紅外線儀器中，被廣泛地使用，尤其是能譜儀方面。它們所受之限制，主要是由於本身的脆弱和較慢之反應。

【熱電偶安培計】(Thermo - couple ammeter)

利用熱電偶裝置而測電流強度者。

【熱電偶電流計】(Thermo - galvanometer)

藉熱效應測量弱小的射頻電流用的電流計。

【熱電動勢】(Thermo-electromotive force)

詳閱“溫差電動勢(*Thermo-electromotive force*)”條。

【熱電率】(Thermo - electric power)

如果熱電元本身的熱傳導係數太高的話，便會發生能量的損失，因爲熱能由熱端進入以後，迅速的便流過了整個元素而沒有留下來多少轉變爲電流。另外一種發生能量損失的情形是由於熱電元的高電阻而來的，也就是說一部分由熱電元所產生出來的電力，又經過所謂的焦耳或是 I^2R 的公式變成了熱量。科學家把這兩個因素相加以後，再加上另外一個因素，以英文字母 Z 來表示熱電率或是有效值，其定義如下：

$$Z = S^2 / \rho K$$

其中 S 爲則白克係數(*Seebeck coefficient*)，表示物體的熱電性質，其大小等於每相差溫度一度所產生的電壓數。ρ 爲熱電物質的電阻率(*resistivity*)。K 爲熱電物質的熱導率(*thermal conductivity*)。Z 的數值愈高，則表示熱電物質愈好，因此在選擇時，必須考慮選擇 S 值較大，以及 ρ 、K 值較小者。

【熱電轉換】(Thermo-electric conversion)

使用熱電偶，將熱能轉變成電流的現象稱爲熱電轉換。

【熱損失】(Heat loss)

電力轉爲熱效應時所發生之損失。

【熱滋生反應器】(Thermal breeder reactor)

靠熱中子維持分裂鏈反應的滋生式反應器。

【熱傳導】(Heat conduction)

熱傳導是藉物質相接觸時，因有溫度差而有熱的傳遞。當一個物體有兩部分的溫度不同時，熱流便會從高溫處流到低溫處去。熱傳導只產生於有熱接觸的物質之間。物質導熱的性質常用導熱係數 k 來表示。根據實驗的結果：一個截面積爲 A，長度爲 Δx 的短棒，兩端有溫度差 $\Delta\theta$ 時，在 Δt 時間內由高溫的一端流到低溫的一端的熱流 ΔQ，可用下列的關係表示

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A\frac{\Delta\theta}{\Delta x}$$

要注意的是，這個比例關係只有在接觸棒的橫截面是均勻的時候，才是絕對地眞確。在比較廣泛的情形之下，我們把 $\Delta\theta$ 和 Δx 都縮小，取其極限來定義導熱係數（*thermal conductivity*）k，

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = -kA\frac{d\theta}{dx}$$

$\frac{d\theta}{dx}$ 稱爲溫度梯度（*temperature gradient*）。負號表示熱流的方向和溫度的增量方向相反。k 的值往往會隨溫度而改變。因此，在熱的傳導過程中，不一定保持常數。然而對很多物質來說，如果溫度差不太大的話，k 還可以大致算是常數。圖 15 — 64是多種物質導熱係數隨溫度變

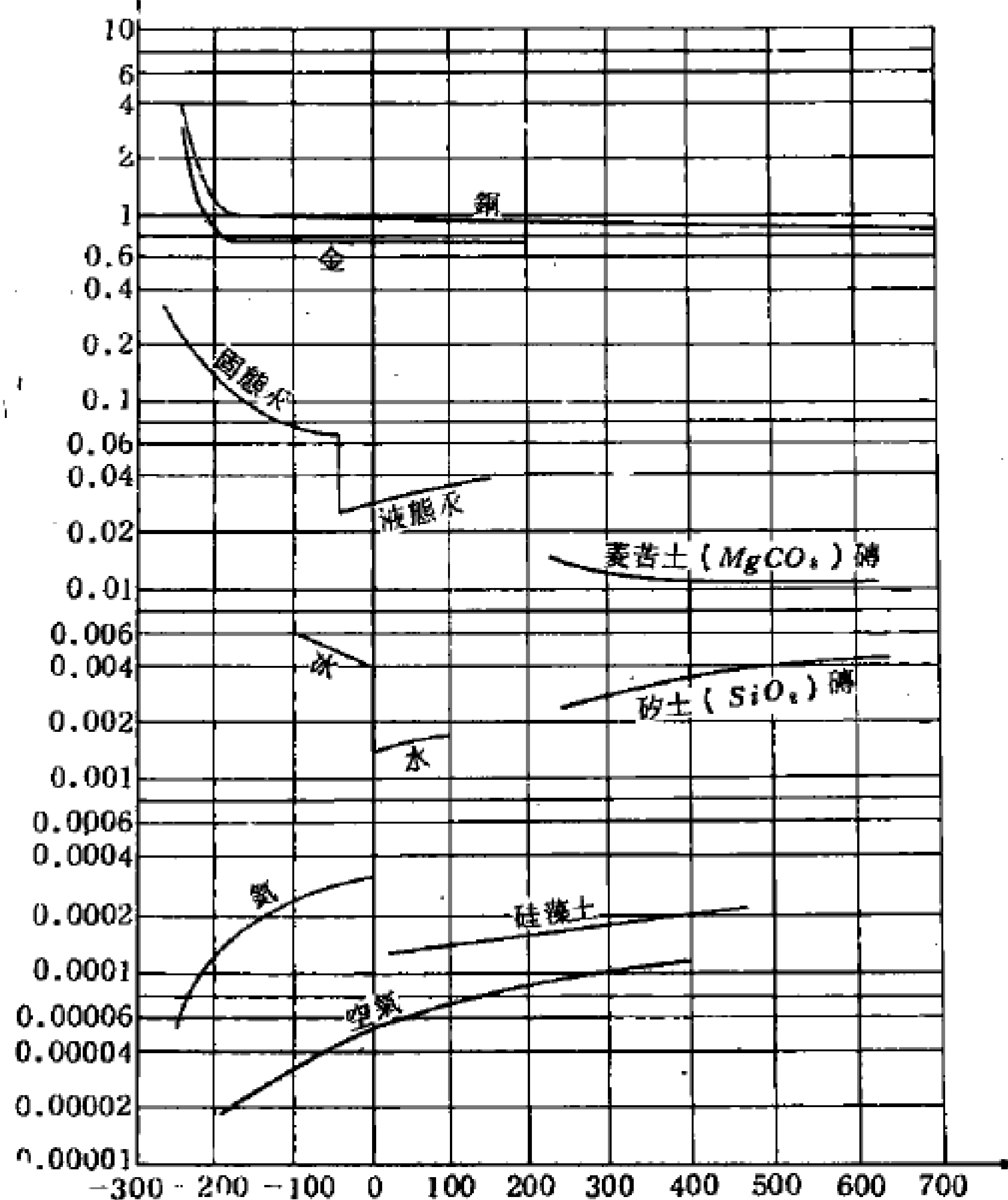


圖 15 — 64　各種物質的導熱係數

化的情形。

處理一般的熱傳導問題時，必須把上面的一般方程式變換成二階偏微分方程。這方程式的解受到所予邊界條件（*boundary condition*）的限制，而且一般情況下需用到些超出大學數學範圍的函數和級數。不過，有三個簡單狀況，可以用很基本的方法處理。在這三種狀況中，我們假定整個導體內每部分的 k 是一樣的。

1. 垂直於板面的線性熱流——若溫度差 $\theta_1 - \theta_2$ 和厚度 x 都很小，則顯然可知 $\dot{Q} = kA \dfrac{\theta_1 - \theta_2}{x}$

2. 兩個同軸圓筒間的徑向熱流——設內筒半徑為 r_1，外筒為 r_2，長度均為 L，兩筒之間為導熱材料。若內、外筒各保持 θ_1 及 θ_2 的溫度，就會有穩定的徑向熱流，流率為 $\dot{Q}$ = 常數。我們考慮通過由半徑 r 及 $r + dr$ 之圓筒圍成的圓筒殼層之熱流（圖 15—65）。令 θ 及 $\theta + d\theta$ 分別為 r 及 $r + dr$ 處之溫度。殼層面積為

$$A = 2\pi r L$$

而溫度梯度為 $d\theta / dr$。因此

$$\dot{Q} = -k 2\pi r L \frac{d\theta}{dr}$$

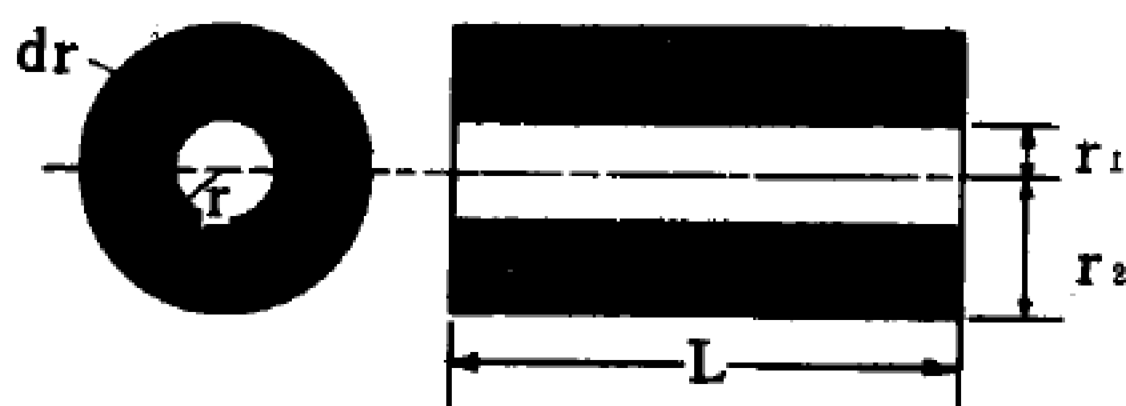


圖 15 — 65　圓筒內的徑向熱流

於是

$$d\theta = -\frac{\dot{Q}}{2\pi L k} \frac{dr}{r}$$

由 r_1 積分至 r_2，得到

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{\dot{Q}}{2\pi L k} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

3. 同心球間的徑向熱流——導熱材料位於半徑 r_1 溫度 θ_1 的內球，與半徑 r_2 溫度保持 θ_2 的外球之間，則有流率 $\dot{Q}$ 的穩定徑向熱流發生。考慮通過半徑為 r 及 $r + dr$ 之球所圍成的球殼之熱流，可得

$$\dot{Q} = -kA\frac{d\theta}{dr} = -k\,4\pi r^2\frac{a\theta}{dr}$$

於是 $$d\theta = -\frac{\dot{Q}}{4\pi k}\frac{dr}{r^2}$$

由 r_1 積分至 r_2 ，得到

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{\dot{Q}}{4\pi k}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

【熱障】(Heat barrier)

在大氣中運動物體，當速率增大時，空氣抵抗物體而摩擦生熱，使飛行物體減少其效能，是爲熱障。

研究氣體力學之科學家們，正在努力克服此項困難，使火箭、飛彈能超越障礙獲得超速率；並努力使機械不致因此而發生損壞（ *failures* ）現象。

距海面約二千呎高處，速率與飛機外殼因摩擦而生熱之關係如下：

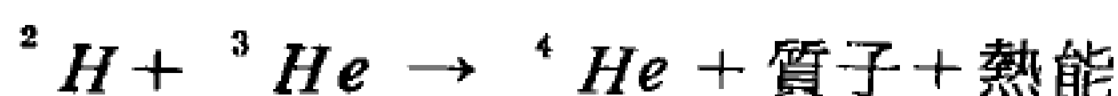
每時速率（哩）	飛機外殼溫度	漸升溫度（華氏）
300	64 度	—
600	128 度	64 度
900	208 度	80 度
1,200	320 度	112 度
1,500	464 度	144 度
1,800	640 度	176 度

熱障問題之存在，根據科學家之研究，當時速達一千哩時，此問題卽告出現，可能的解決辦法是人工冷卻機翼，以及採用在極高溫度下仍能保持堅硬的金屬。

【熱熔合核能火箭】(Thermonuclear-fusion rocket engine)

熱熔合核能火箭引擎是未來推進系統的一種可能發展，科學家構想

以熔合核能來加熱推進劑達到非常高的溫度，高溫推進劑由噴嘴以高速射出，如圖15—66，重氫及氦 - 3引發熔合產生氦及質子，此反應公式可寫如下：



$$^{2}H + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + \text{質子} + \text{熱能}$$

欲引起這個反應，重氫和氦 - 3必須在很高溫度（約為攝氏10^8度）熔合後所生成的氦及質子保有極大的動能（高速）。科學家在各地的實驗室中都在全心全力研究如何能控制這種熔合的連續進行，但仍沒有有效方法。在理論上參與作用的核子如具有攝氏10^8度高溫，熔合可連續發生。這些參與的高溫氣體可用磁場聚在一起，這是當高溫時氣體都已離子化，很強的磁場可使這些氣體聚在以磁場形成的瓶狀區域內，如圖 15—67。磁場的強度估計約在幾十萬高斯，產生如此強的磁場需用很重的線圈和電能。在熔合核能火箭引擎中，如圖15—68，氫的氣體推進劑與已發生熔合作用的氣體混合，經一個以磁場形成的噴嘴射出，而產生推力。雖然到目前仍未能有效控制熔合的進行，但科學家們想像出

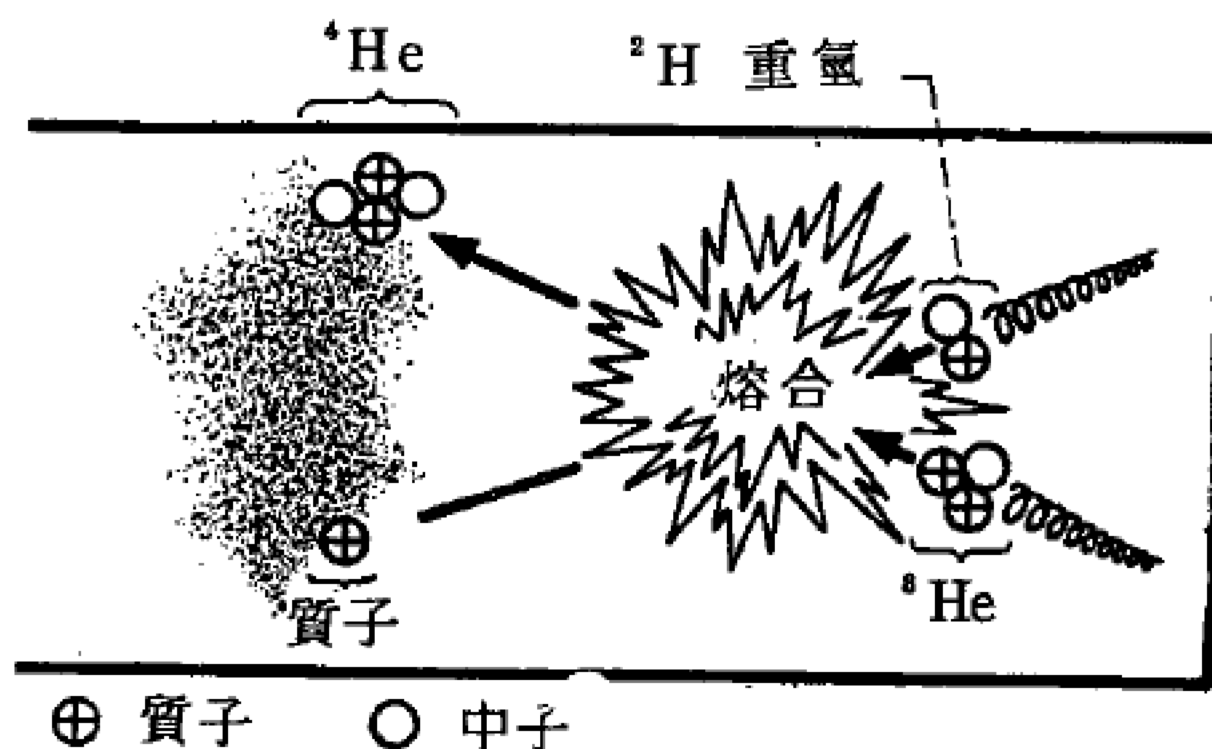


圖 15 — 66　核子熱熔合火箭引擎原理

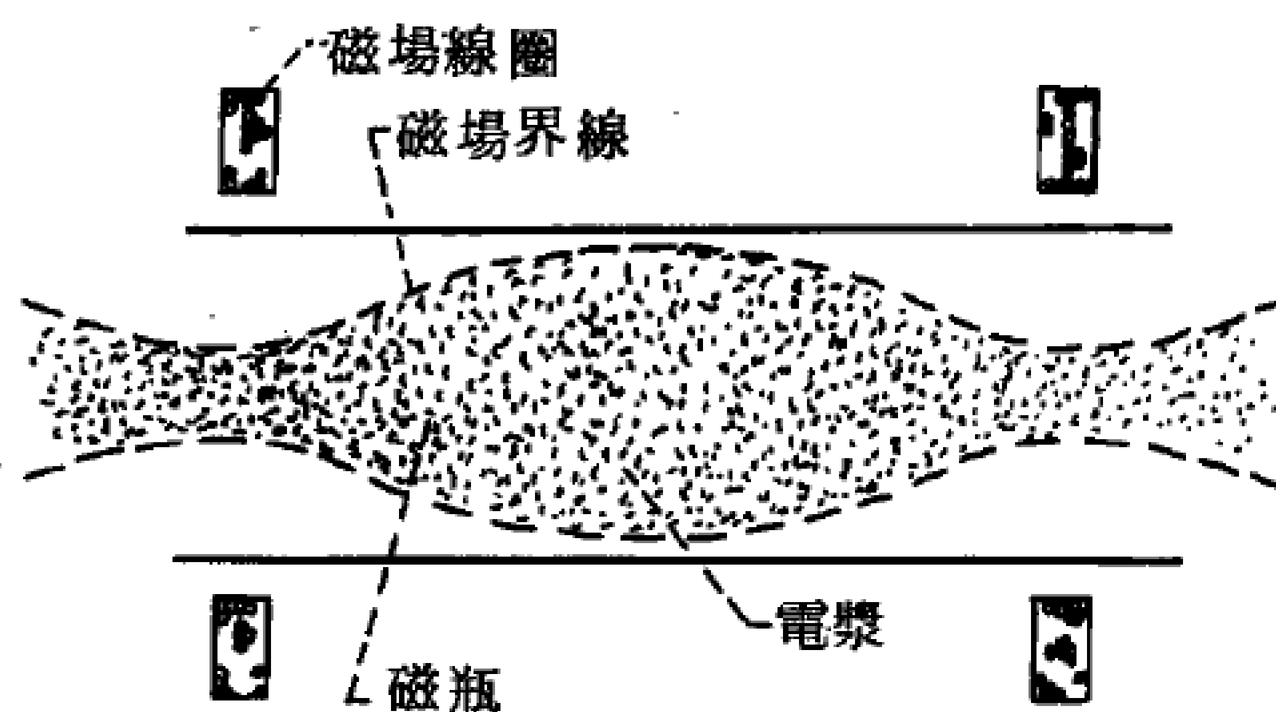


圖 15 — 67
高溫離子化的氣體經強磁場作用而聚在一起的情形

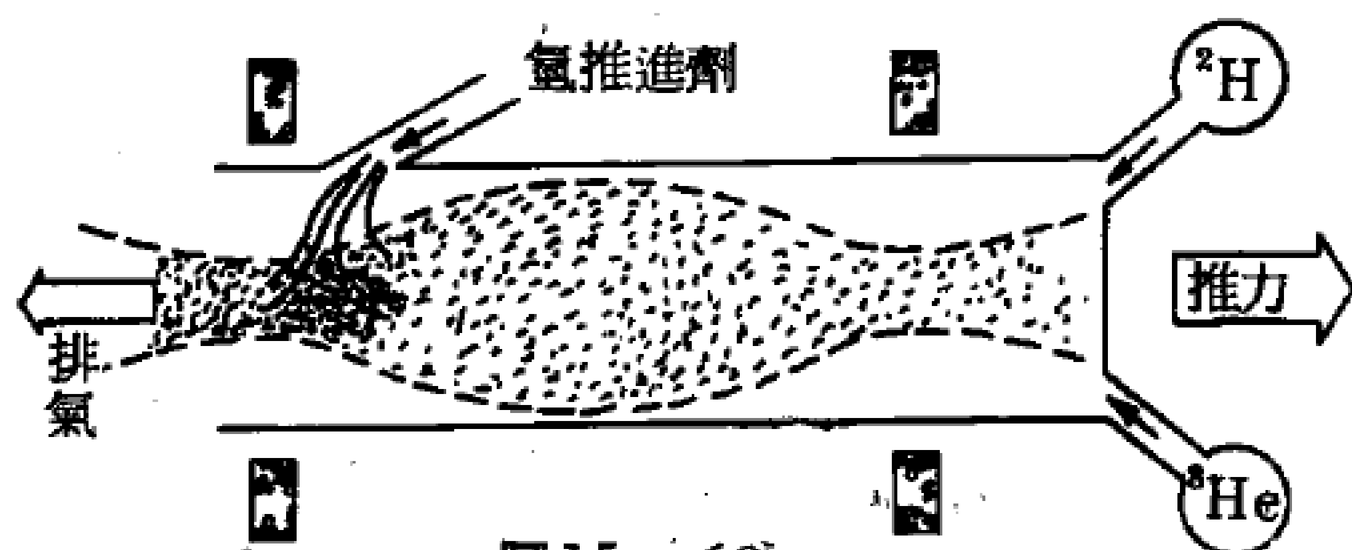


圖 15 — 68
核子熔合能火箭的簡單說明及衝力產生情形

這種火箭作成功後，此太空船將長 150呎，能攜載八個人，來往於火星與地球之間，大約需 200 天。

【熱對流】(Heat convection)

加熱於液體時，在熱源附近的流體受熱膨脹而上升，一方面將熱流傳遞給它所經過周圍較冷的部分；而遠離熱源的流體因為密度較大，又降下來取代上升流體所空下的位置；如此，產生一種冷熱流體交互流動的現象而把熱傳開，這種藉物質本身的流動而傳熱的方式叫做熱的對流。物質熱對流的性質可用對流係數 h 來表示。h 的定義如下：

$$\dot{Q} = hA\Delta\theta$$

對流有兩種型式：

1. 自然對流 (*natural or free convection*)——當流體的流動只因在流體中有熱物體時，產生溫度梯度，因而有密度梯度，故流體受重力的影響而運動。

2. 強制對流 (*forced convection*)——由某種外物使熱物體與液體之間維持相對運動，此時因重力的流動甚小而可免計。

【熱線】(Hot lead)

信號產生器之輸出信號是通過一個同軸有隔離的引線，把信號電壓輸入待測的接收機中，普通紅色的引線名熱線，使用時加在待測點上。

根據電流生熱及細線因受熱而伸長的原理，即可製成熱線電流計。如圖 15—69所示。電線 AB 的中點 M，有一由螺旋彈簧 S 固定的線 F，當 AB 因電流發熱而伸長時，F 線能使之作適度的彎曲。同時又因 F 線纏繞於指針 Z 的軸 H 上，故 AB 線之伸長度，可由指針在刻度盤上的位置讀出

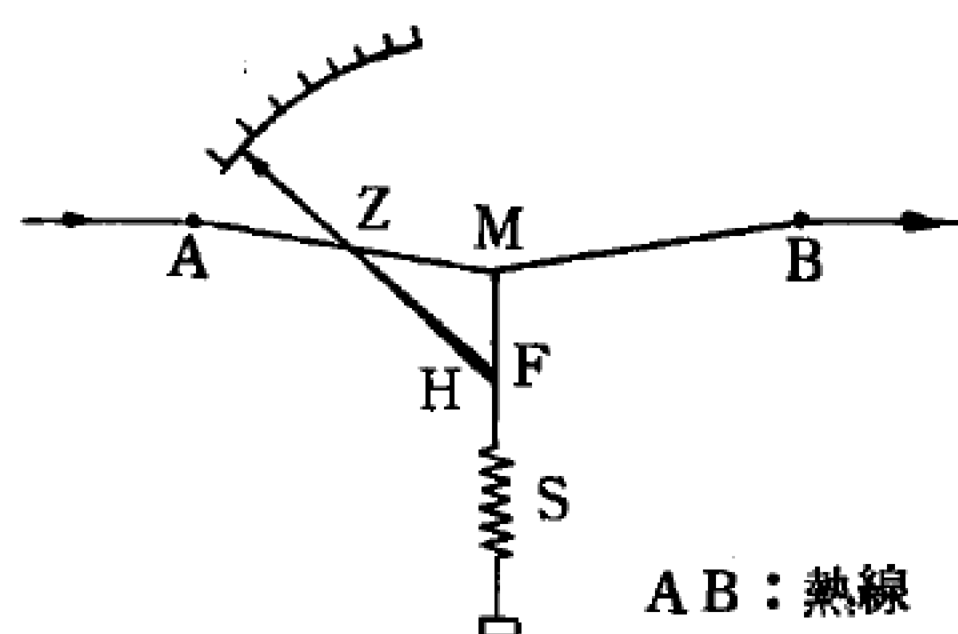


圖 15 — 69
熱線電流計，由彈簧S 拉住的線F 繞在指針Z 的軸H上

，因而可測定電流之強度。導線之發熱與電流方向無關，故熱線電流計亦可用以測量交流電。

【熱線安培計】(Hot- lead ammeter)

根據阻力線通過電流生熱及熱效應 (*heating effect*) 與電流平方成正比的原理製成的電流計。

【熱機】(Heat engine)

能將熱變爲功的裝置，稱爲熱機。例如蒸汽機、內燃機 (又可分爲汽油機和柴油機)、蒸汽渦輪機、噴氣機等，通常以氣體作爲工作物質，而藉氣體膨脹對外作功。熱機的效率 e 是一循環中熱機所作之淨功與一循環中從高溫熱源所取之熱的比值。故

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

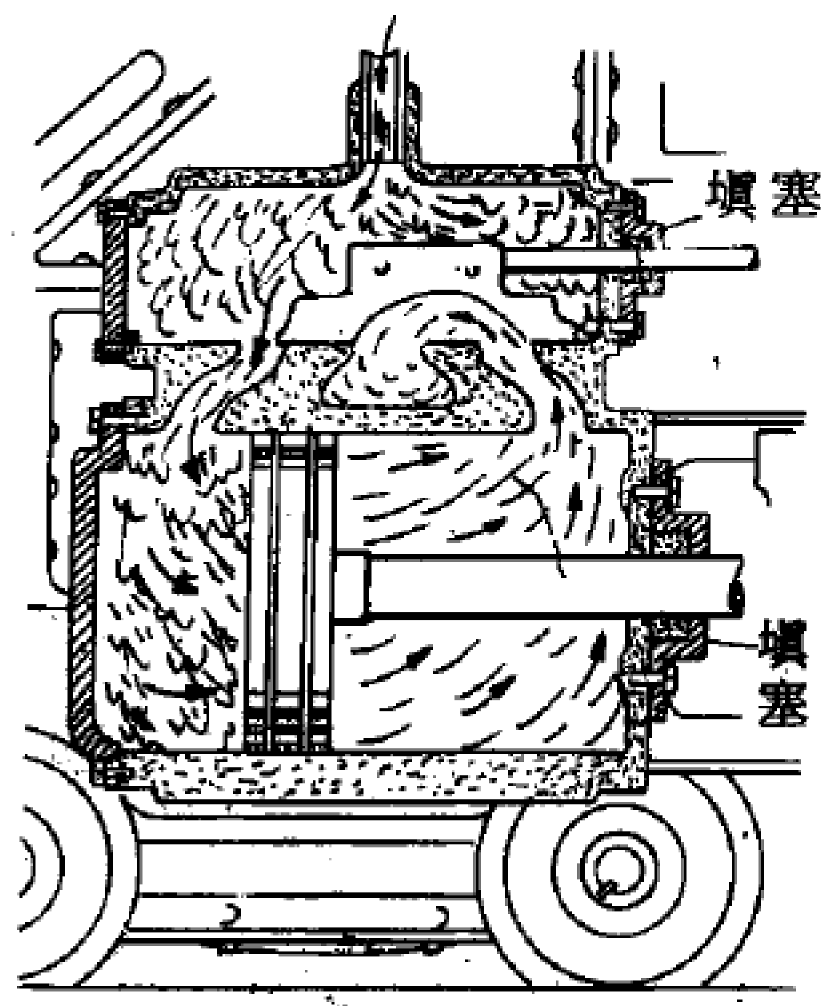


圖 15 — 70

上式表示只要給予廢氣的熱 Q_2 不爲零，熱機的效率就比 1 小。經驗上顯示各熱機在排氣衝程中總要排出一些熱，這些熱代表在過程中爲熱機所吸收而未變爲功之熱。

1. 蒸汽機——火車使用蒸汽機。蒸汽機將高溫高壓的水蒸汽引至蒸汽機筒內，利用蒸汽的膨脹，推動機筒內的活塞，作往復運動。並且利用曲柄，將活塞的往復運動轉換爲車輪的轉動。如圖 15 — 70 所示。

2. 汽油機——將可燃的氣體和空氣混合壓縮在汽缸內，經過燃燒而作功的熱機，如圖15 — 71稱爲內燃機。汽油機是內燃機的一種，用揮發性高的汽油作燃料。汽車使用汽油機。汽油機將汽油和空氣的混合氣體引進汽缸內，然後利用電極火花，使混合氣體燃燒。燃燒時所形成的高壓氣體推動活塞，作往復運動。往復運動又利用曲柄等，轉變爲車輪的轉動。

3. 柴油機——柴油機也是內燃機的一種 (如圖 15 — 72)，

笨重但動力大，所以常使用在輪船、柴油車、大型汽車等上。它和汽油機主要不同的地方：(1)它使用揮發性較低和較重的柴油做燃料；(2)它不需用電極火花點燃

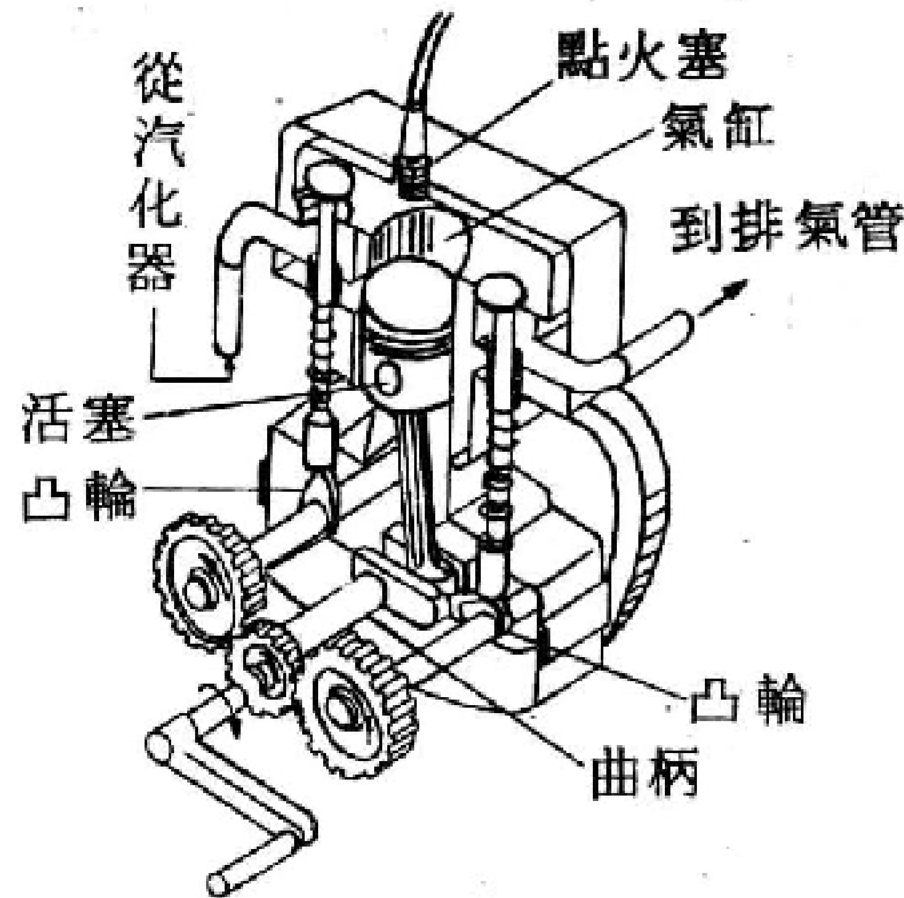


圖 15 — 71

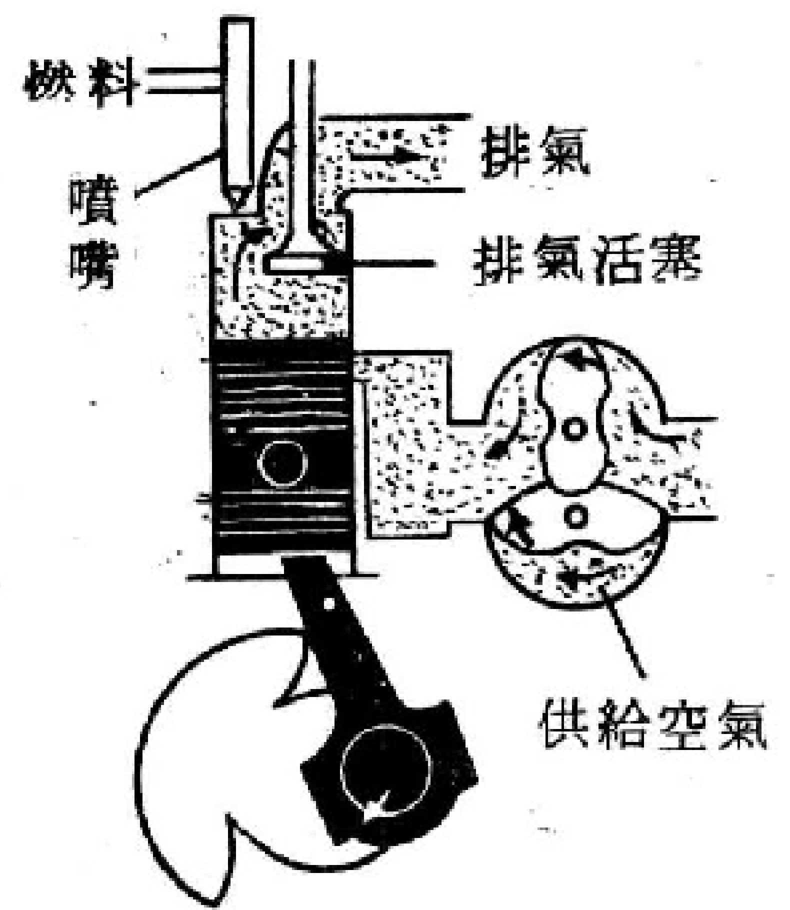


圖 15 — 72

，只利用活塞，急速壓縮汽缸內空氣，使空氣在絕熱壓縮下溫度升高至柴油的燃點，而後由噴嘴射出霧狀柴油，使它引起燃燒。

4. 蒸汽渦輪機——蒸汽渦輪機是一種轉動式的蒸汽機，利用高壓蒸汽的膨脹，直接轉動一個或數個固定於軸上的葉輪。在汽鍋內所生的高壓蒸汽，經輸氣管從一個或數個固定的噴嘴射出，衝擊輪周的葉片，使輪轉動。較大的動力設備，如火力發電廠和輪船的推進裝置，多採用蒸汽渦輪機。也有利用燃燒所生的高壓氣體推動的渦輪機，這個渦輪機稱為氣體渦輪機（圖 15 — 73 ）。

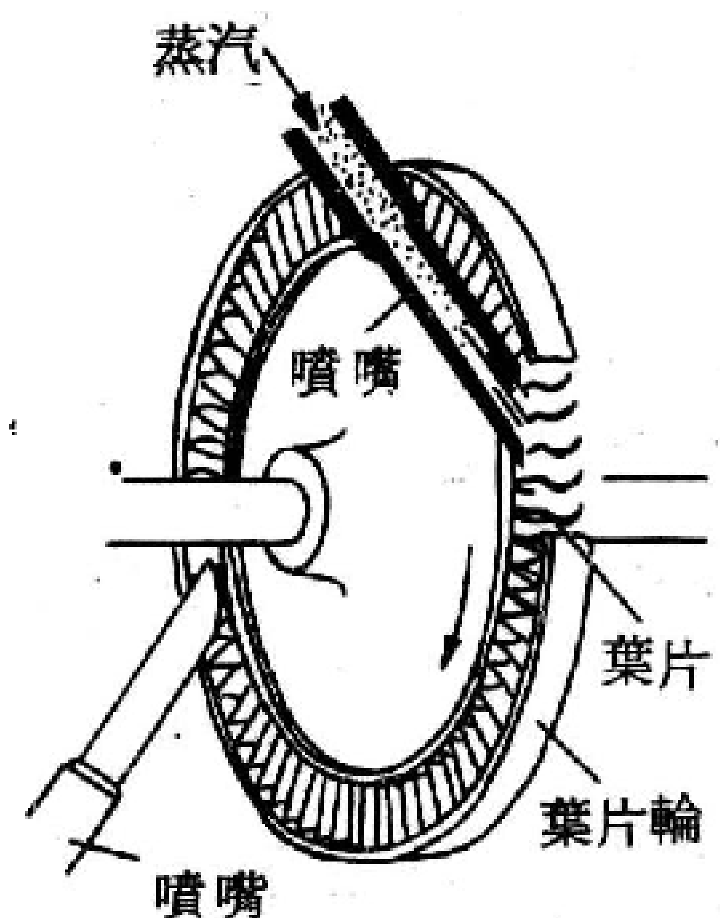


圖 15 — 73

5. 噴氣機——物體向後高速噴出氣體，物體就受噴出氣體的反作用力而向前運動。噴氣飛機或火箭就利用這原理而飛行（如圖15—74）。不過噴氣飛機在飛行中，須從機外時時吸進空氣，以獲得助燃的氧氣使燃料燃燒後，形成高壓氣體噴出機外而前進。所以噴氣機只能在有空氣的空間飛行。火箭則自備有助燃的氧氣或使用不需氧氣的燃料，因此可以在沒有

空氣的太空中飛行。

【熱機的熱效率】(Thermal efficiency of heat engine)

若某工作物質在一循環中由高溫熱源獲得之熱量為 Q，對外作功 W，則 $\eta=\frac{W}{JQ}$

W 為熱功當量，稱為此循環的熱效率。若此時向低溫熱源放出 Q' 熱量，則

$$W=J(Q-Q')$$

而 $$\eta=\frac{Q-Q'}{Q}=1-\frac{Q'}{Q}$$

依照熱力學第二定律，在兩熱源間操作的循環中，可逆循環的熱效率最大，並只與兩熱源的溫度有關，即卡諾定理（*Carnot theory*）。故若兩熱源的絕對溫度分別為 T_1 和 T_2，則可逆循環的熱效率等於（T_1-T_2）/ T_1 。利用此關係，亦可定義絕對溫度（克耳文溫度）。有時對外所作之功稱為有效能，JQ' 稱為無效能。

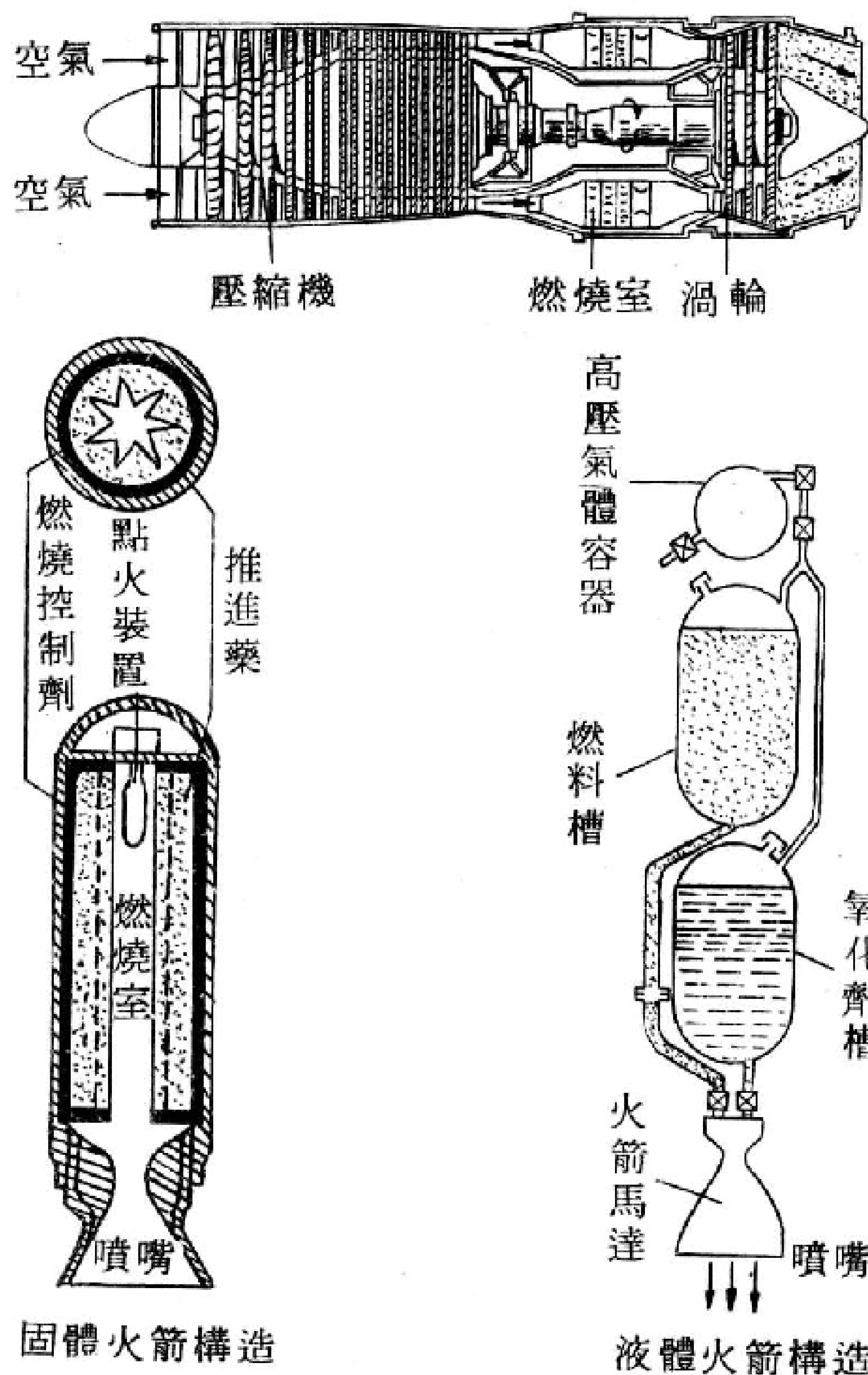


圖 15 — 74

【熱輻射】（Thermal radiation）

熱的一種傳遞方式，不藉物質的接觸而直接由電磁波來傳遞。實驗上發現，當物質處於激發狀態（或者說溫度不等於零）時，會將一部分的能量以電磁波（或光子）的方式放出，而落回穩定的低能狀態。熱輻射是屬於低頻率的電磁波，速率視物體的溫度及其表面的結構而定。其

輻射能量是連續能譜，自遠稍紅外線區延伸至極短的紫外線區。在某溫度物體表面的總發射強度（*emissive power*）是輻射面上單位面積向所有方向之所有波長能量的發射率。有關熱輻射的若干性質，可由熱力學中的史特凡、波茲曼定律（*Stefan-Boltzmann law*）導得。最完整的理論，則須應用電磁理論、統計力學、量子論加上蒲朗克的輻射公式，對熱輻射已有完善的描述。表面在任何溫度之總發射率，比例於其單位發射表面面積及朝各方全波長之輻射能。各方向每一單位立體角（*solid angle*）之通量密度，除黑體之外均服從餘弦發射律（*cosine emission law*）。熱輻射之觀測與計量可使用不同類之輻射計如測輻射熱計（*bolometer*）或無線電測微計（*radio-micrometer*）行之，如屬短波，亦可使用其光電效應及攝影法行之。

外太空關於溫度的問題是討論熱輻射的最好例子。在大部分的太空中所呈現的是很稀的透明游離電漿，以致於沒有熱傳導的現象發生。在能譜中的紅外線區域，這些游離電漿的輻射性並不強，因此剩下來的僅是來自各個星體和銀河的輻射。雖然每一星球表面的溫度約在 1,000 至 1,000,000°K之間，從天空中任一點平均所接受的輻射熱僅相當於 4°K 的溫度。

【熱導率】（Thermal conductivity）

在一定時間內，一定溫度差下，自物體之一面，傳於其對面之熱量，與兩面之距離成反比，而與其面積成正比，且與傳導之時間及兩面之溫度差成正比。此比例係視物體之性質而異，名之為該物體之熱導率K，即

$$K=-\frac{dQ/dt}{A(dT/dx)}$$

式中dQ/dt 為單位時間內流過面積A的熱量，A面垂直於溫度變化最大的方向，dT/dx 為溫度隨距離的改變率。熱導率K甚大之物體是優良熱導體；而熱導率K小者是不良熱導體或為優良之熱絕緣體。K值因溫度而異，隨溫度增高而稍有增加，但若物質各部分間之溫度差不甚大

時，在實用上對整個物質可視K為常數。熱導率的因次為（能量）·（時間）$^{-1}$（距離）$^{-1}$·（溫度）$^{-1}$。故常用的單位為"仟卡(秒米°C)$^{-1}$"、"卡（秒厘米°C）$^{-1}$"或"（$B.T.U.$）·吋／呎^{2}小時°F"。

晶體冷卻時，它的熱導率增加極速（如圖 15 — 75），這是由於在冷卻之時，雖然傳送能量的振動波數目大減，但是另一效應卻使其增加，即剩下振動波的運行。距離的增加，遠勝於波數量減少的影響。若溫度再降低，則回波運行的距離無法再增，於是在絕對零度時，亦降為零。在這種低溫之下，一個完整的藍寶石晶體的熱導率可與銅的熱導率相比。

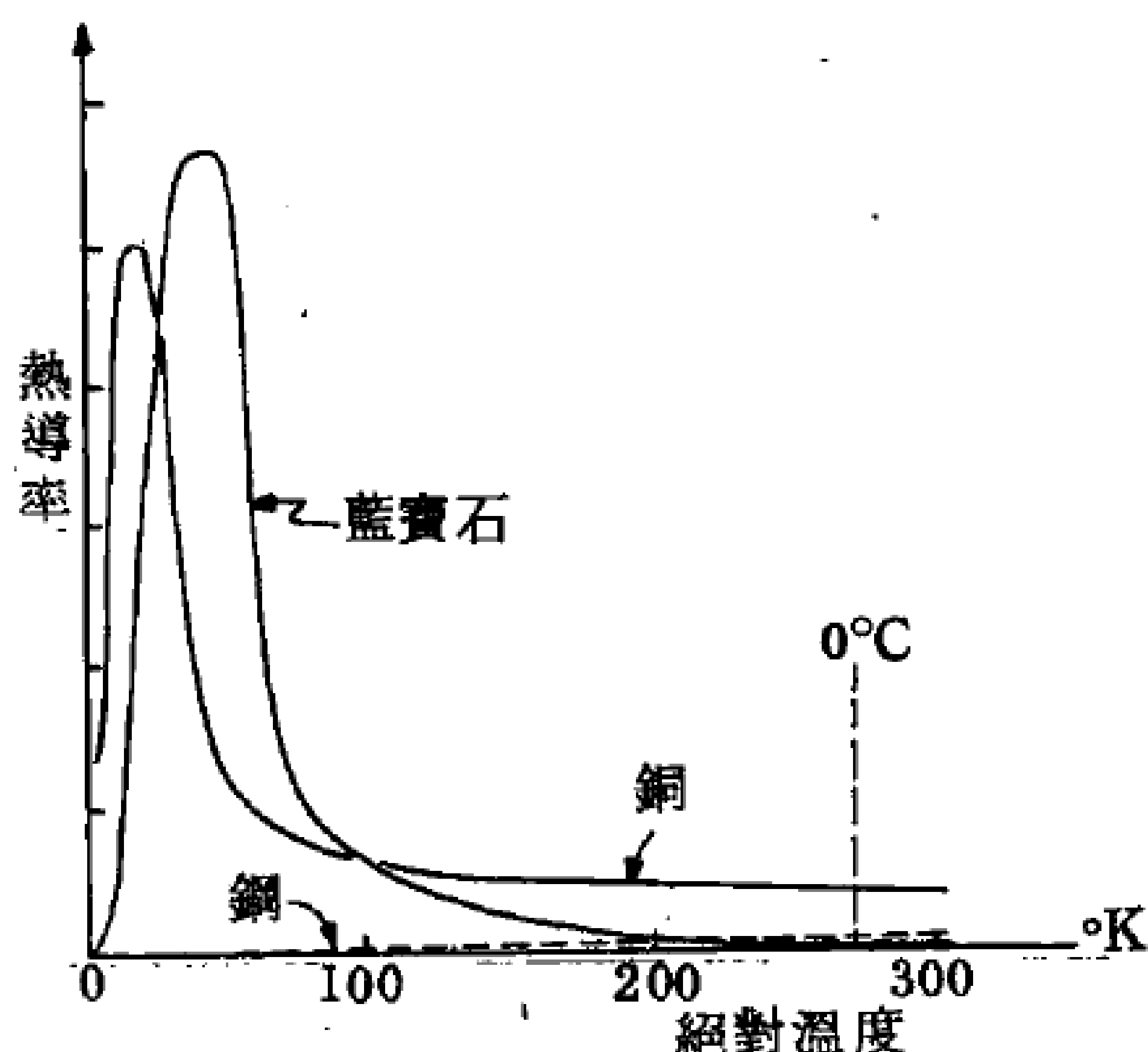


圖 15 — 75
純晶體的熱導率，在低溫下增至室溫時值的數倍

金屬性或金屬性晶體的熱導率，均與藍寶石及銅的情形相似。當溫度降低，原子的運動減少時，振動波或是電子所能行走的距離迅速增加，這一距離僅受晶體的大小所限制，在一大而完美的晶體中，低溫下的傳熱速度趨近於聲速。在鋼這類合金和熔石英玻璃與塑膠體的熱導率均甚小，此乃因在這類物體的原子排列中有雜質或排列不整齊，使在任何溫度下振動波均不能傳送甚遠所致。

【熱膨脹】（Thermal expansion）

溫度改變時，通常的效應是材料之大小和狀態改變。今考慮大小改變而狀態不變之情況。就結晶固體的簡單模型而言，諸原子由於電力結合成規則之排列，原子間之力像連結諸原子的彈簧所施之力，故可視固體為一微觀之彈簧床（圖 15 — 76）。此等彈簧相當倔強，每立方厘米約有 10^{22}個彈簧。在任何溫度，固體的原子均振動，其振動振幅約為10^{-9}

厘米，頻率約為 10^{13} 次／秒。

以微觀標準而論，固體熱膨脹指示固體中原子間之平均間隔增加。在結晶固體中，兩相隣原子之位能曲線為其原子核間距離之函數，為如圖 15—77 所示之不對稱曲線。

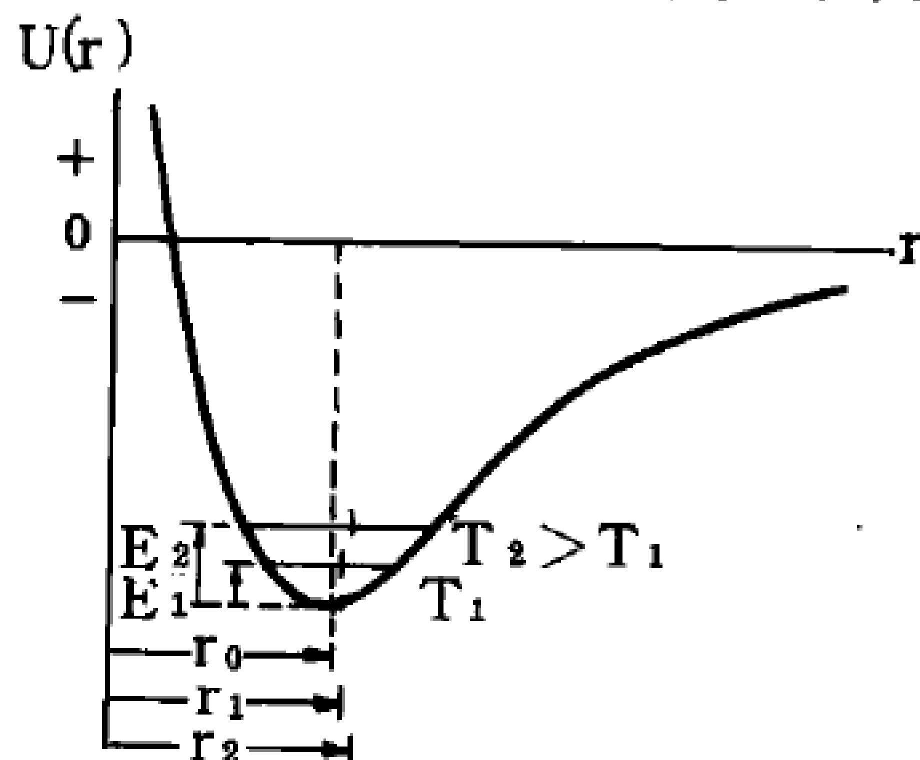


圖 15 — 77

結晶體相鄰兩原子之位能曲線為原子核間間隔之函數，平衡間隔為 r_0，因曲線為不對稱，溫度增加（T_1，T_2）時，平均間隔（r_1，r_2）增加，振動能量（E_1，E_2）亦增加

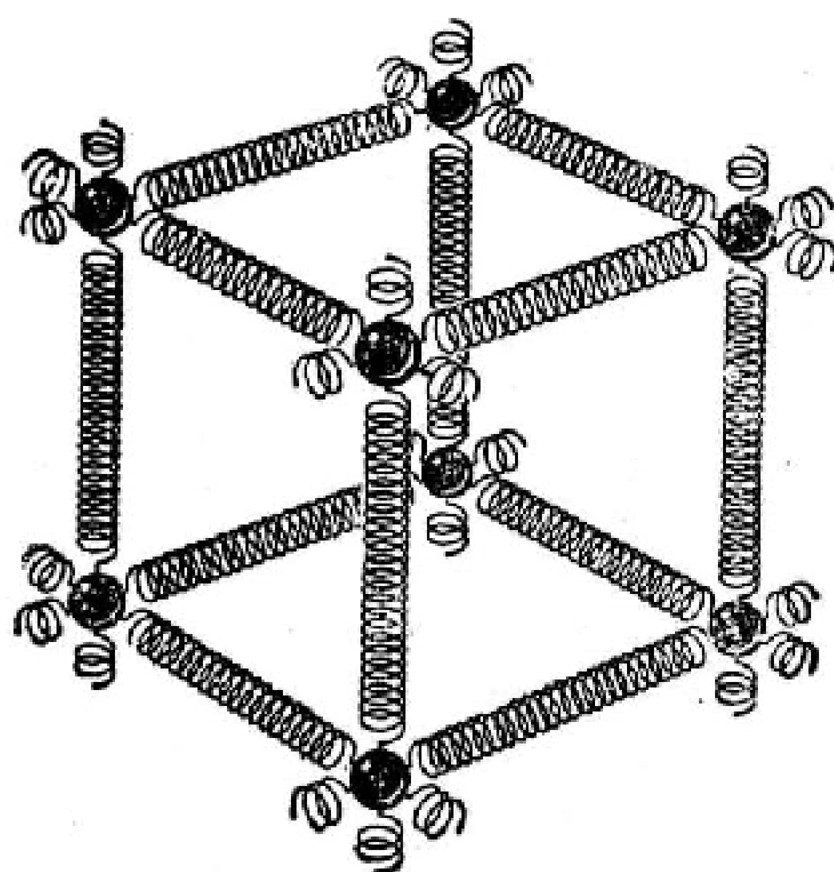


圖 15 — 76

固體在許多方面之行徑恰似一微觀之彈簧床，諸分子由彈力結合一起

當原子相接近運動時，其間隔自平衡值 r_0 減少，於是產生強大推斥力，位能曲線陡升（$F = -\dfrac{dU}{dr}$）；當原子遠離時，其間隔自平衡位置增加，則生稍弱之吸引力，位能曲線緩慢上升。在一定之振動能量，原子的間隔將從極小值至極大值之間週期改變，由於位能曲線不對稱，平均間隔大於平衡間隔。如振動能量更高，其平均間隔愈大，取運動時時間之平均，可知在大間隔（低振動速率）所耗時間較長，上述效應因之增大。因振動能量隨溫度之升高而增加，原子間之平均間隔也隨溫度之升高而增加，整個固體隨之膨脹。

當位能曲線對平衡間隔為對稱時，則不論振動振幅多大，其平均間隔相當於平衡間隔。因此，熱膨脹是因固體之位能曲線特性的不對稱之直接結果。膨脹之比例，隨物體的種類而不同，固體最小，氣體最大。

【熱膨脹係數】（Coefficient of heat expansion）

物體被加熱時，溫度上升，且其長度、面積、體積增加（或減少）統稱為熱膨脹。當長度增加時稱為線膨脹，面積增加時稱為面膨脹，體

積增加時稱爲體膨脹。物體通常隨著溫度的上升而膨脹，但是亦有相反的下降者，例如在0°C至4°C 的水和鉛字的合金等。熱膨脹的大小，液體比固體大，氣體比液體大。

單位長度、單位面積、單位體積的物體，溫度上升1°C時的長度、面積和體積變化，分別稱爲線膨脹係數、面膨脹係數和體膨脹係數，統稱爲熱膨脹係數。

設0°C和t°C時的物體長度分別爲l_0和l，則線膨脹係數α爲

$$\alpha = \frac{l - l_0}{l_0(t - 0)} \quad \left(\text{即} \alpha = \frac{1}{l_0}\frac{dl}{dt}\right)$$

由此得

$$l = l_0(1 + \alpha t)$$

設0°C和t°C時的物體體積分別爲v_0和v，則體膨脹係數β爲

$$\beta = \frac{v - v_0}{v_0(t - t_0)} \quad \left(\text{即} \beta = \frac{1}{v_0}\frac{dv}{dt}\right)$$

由此得

$$v = v_0(1 + \beta t)$$

同樣可定義面膨脹係數γ，並寫出t°C時的面積A：

$$\gamma = \frac{A - A_0}{A_0(t - t_0)} \quad \left(\text{即} \gamma = \frac{1}{A_0}\frac{dA}{dt}\right)$$

由此得
$$A = A_0(1 + \gamma t)$$

α、β、γ間有下列的近似關係：

$$\beta \doteqdot 3\alpha \qquad \gamma \doteqdot 2\alpha$$

依照查理定理，無論何種氣體，在低溫或高壓情況以外時，其體膨脹係數，均近似於$\frac{1}{273}$。

【熱噪聲】(Thermal noise)

所有物質受熱時，都會使原子及分子振動而產生噪音。這種分子振動的頻率大約是從1,000到10兆（10^{13}）週/秒（cps）的廣大範

圍內。由於熱噪聲的頻率範圍太大，故成了雲射最大干擾來源。這種干擾對普通無線電通信影響不大，但對像衛星通訊和無線電天文學等新興的科學來講，就成了致命的死敵。

熱噪聲的起源如用物理學家所習用的術語來表示，那就是熱。由於噪音的能量是隨溫度上升而增加，故物理學家常用溫度去表示噪音能量。不過這種溫度的標示法與習用的不同。我們常說的溫度，不外乎是零上或零下華氏與攝氏幾度而已，但是物理學家常把溫度看成是決定原子和分子能量的量度。當溫度到$-273°C$時，能量便到達理論上的最小值。

【熱檢波器】(Thermodetector)

當一位天文物理學家想由測量月球的輻射，來決定月球表面的溫度；或是一位化學家想利用紅外線譜儀，來決定由分子振動所引起的吸收光帶的強度時，只能得到非常小的輻射功率，且需使用非常靈敏的儀器，來偵測這些輻射。事實上，自紅外線被發現以來，最主要的問題之一，就是尋求能夠測得更少量輻射能的檢波器。

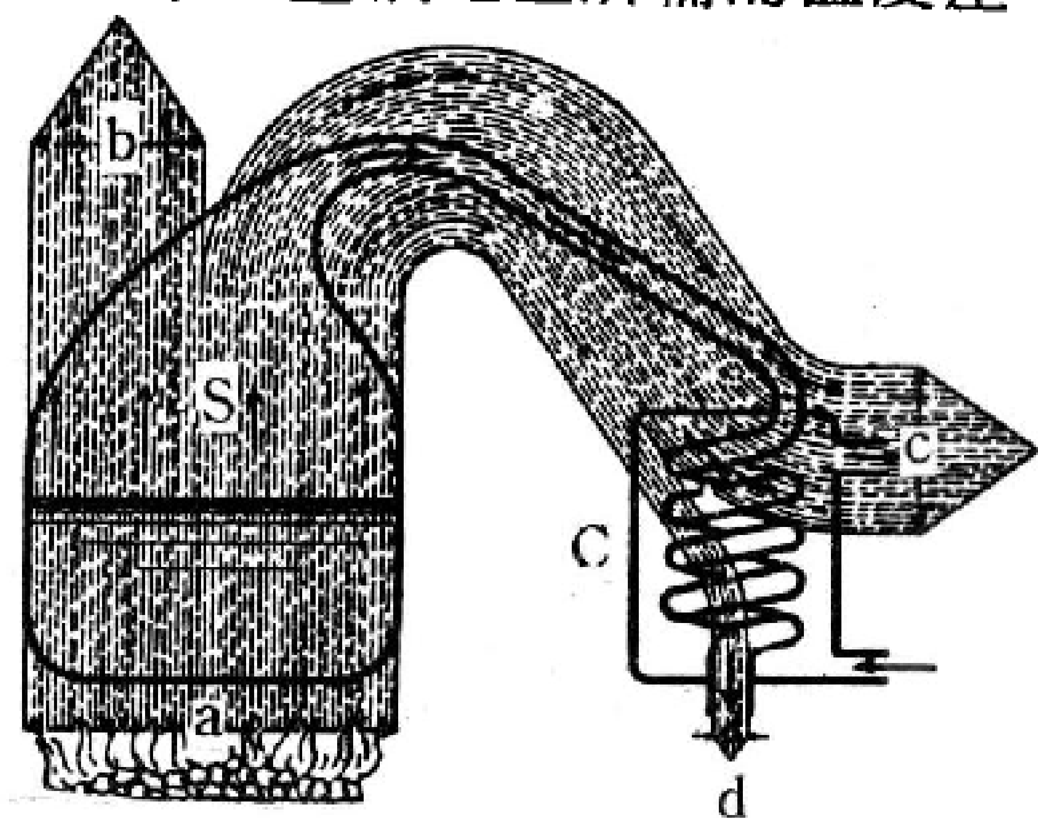
熱檢波器已由於輻射熱效應的概念而萌生了。當照在接收器的輻射被吸收時，接收器的溫度就升高，利用這種物質和溫度之間的依存性，我們可觀察接收器的溫度。目前最通行的三種熱檢波器是：氣體電池、熱電偶和測輻射熱計(*bolometers*)。熱檢波器的特徵是它們一成不變的光譜反應。如果它們先被適當地黑化(在眞空中沉澱金黑色的煙塵)，則其反應度在很寬的波長範圍內，仍幾乎保持常數。另一類的輻射檢波器，光或成量子檢波器，則由於在長波範圍，有突然的截止特性，而顯現出全然不同的光譜反應。

【熱壓機】(Thermal compress engine)

有一種和熱泵不同，但和它有關的機具叫做熱壓機，可用以收回一般動力廠中損失了的潛熱。許多工業程序，像蒸餾、乾燥、以蒸發濃縮

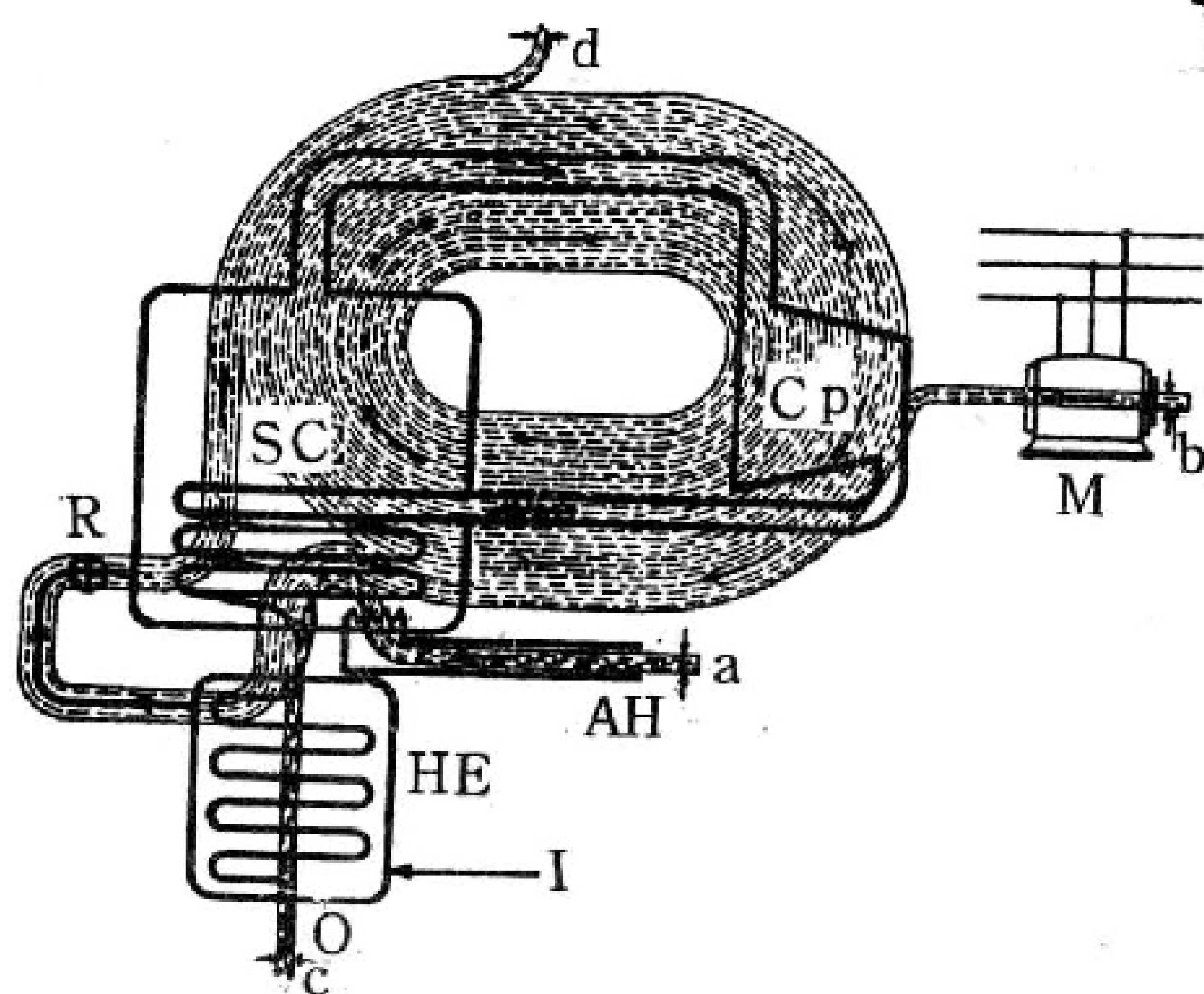
等，在這些過程中大量的熱以潛熱的形式含在水蒸汽中被驅散於大氣而損失。在蒸汽機車上，除了冬天在列車中供應暖氣外，蒸汽的潛熱實際上是無法利用的。但在固定式動力廠如造酒廠和它類似裝置，潛熱的回收是能夠而且應該辦到的。這種經濟性的必需很久以前就被認識了，到十九世紀末，就採用蒸汽預熱鹽水而獲得改進。假若不讓蒸汽逸出，而將它引進管中，通過鹽水管周圍，它就凝結放出一部分潛熱到流入鹽池的鹽水。然而要想收回全部熱能，則只有應用熱壓機建立所需的溫度差，才能利用熱傳導將熱從冷凝器傳到鍋爐。

圖 15 — 78 和 15 — 79示初期普通蒸餾廠的和裝有熱壓機的動力廠的山崎圖形。比較兩圖就可清楚地了解熱壓機的運用。在老式動力廠中，從燃料中供應的大量熱輸入量 a，部分經煙囱 b 逸出而損失掉，部分用作液體的加熱和蒸發。蒸汽的潛熱 c 傳入冷凝器的冷卻水而廢棄，小量殘餘 d 遺留在蒸餾液中（無用）。



S 蒸餾器；C 冷凝器；a 從燃燒燃料供應的熱輸入量；b 經煙囱逸出的熱量；c 冷凝器中與冷卻水一道拋棄的潛熱；d 蒸餾水中的熱量。

圖 15 — 78 初期蒸餾廠的山崎圖形



S C 蒸餾器和冷凝器的合併體；C p 熱壓機；M 電動機；A H 補助電熱器；H E 熱交換器；I 輸入管；O 輸出管；R 節流閥；b 從主電路供應驅動熱壓機的輸入能量；a 從補助加熱器供應的熱量；c 蒸餾液體的熱量；d 經牆壁傳導的熱量損失

圖 15 — 79　應用熱壓機的蒸餾廠的山崎圖形

在熱壓機蒸餾廠中，蒸餾

器和冷凝器合併在同一容器（SC）中，要蒸餾的液體用作凝結蒸汽的冷卻劑，於是蒸汽中的潛熱也用作蒸發液體的熱量。爲著要以熱傳導方式將熱從蒸汽自然移動到液體中，前者的溫度必須比後者的爲高，所以將一具用電動機M驅動的熱壓機Cp 插入從蒸餾器到冷凝器之間的蒸汽流管路中。這間動力廠開始運轉時，由補助電熱器AH供應的一股相當小的熱輸入，使在正常壓力下，將液體加熱到接近沸點。當開動熱壓機時，進氣管中的吸力作用減低了蒸餾器中的壓力，因此液體開始沸騰。蒸汽因壓縮而加熱後，即進入冷凝器的蛇管中，再行凝結放出潛熱到煮沸的液體中，並以此方式維持連續不斷的蒸發。凝結液恰以比液體略高的溫度出現，並由於蒸餾器中的壓力低，餾中液體的沸點較正常壓力下的溫度略低。當蒸餾液流過熱交換器HE 的蛇管時，放出大部分的餘熱到補充液體中，這些液體旋經預熱，再通過節流閥R進入蒸餾器。大氣和蒸餾器間必須由節流閥R保持一段壓力降。

熱壓機的特點爲充分收回潛熱。除避免了煙囪的損失外，並有減低動力廠的能量消費的效果到大約爲原始蒸餾器能耗的十分之一。圖中斜影區域的寬度係與能流成比例畫出，我們可以看出，老式動力廠損失了大量的熱b和c到周圍環境中，因此需要較大的熱輸入量a。在熱壓機動力廠中，大量的熱能流在工廠內部循環。消耗的能量包括兩個部分。一部分爲蒸餾的液體和補充的液體間的熱差，這是和兩者間的溫度差成比例的。如加設一具良好的熱交換器就可減少很多。另一部分爲經蒸餾器壁和管壁的熱傳導損失d，這可用適當的絕熱方法使它降低。如這些設備都能充分滿足需要，則全部能耗值就可降低，單指電動機的動力輸入量b一項，就可補足全部損失。在此情形下，用爲起動的補助電熱器AH，只要工廠全部運轉，就可切開不用。

【熱離子】（Thermion）

金屬中的上帶或傳導帶的電子多少可自由地在晶格中到處運動，這

些電子在正常溫度下不會脫離金屬，因為如果有一電子脫離就破壞了金屬的電平衡，金屬變為帶正電再吸引電子回來，我們有時候說電子被表面之一位壘（ *potential barrier* ）約束在金屬裏面，除非電子有足夠的能量克服這個位壘，否則無法脫離金屬。增加電子能量的一個方法為把金屬加熱，這蒸發的電子則稱為熱離子，在電子管中的電子發射即屬此種。從金屬中釋放電子的另一方法是從電磁輻射中吸收能量。

【熱離子管】（Thermionic tube）

熱離子管是一種具有高效率傳熱性能的管子。熱離子管大致說來是一根細長、中空、二頭封閉的金屬管子。其外部形狀不拘，在理論上幾乎任何形狀的設計都是可以的。管子的內壁附著一層毛細物體（*wick*）。毛細物體內浸濕著液體，這種液體稱之為熱離子管的工作液（ *working medium*），如此便是通常的熱離子管了（圖 15 — 80 ）。然而在實際上生產製造時並不如此單純，其結構依導熱量及溫度的不同而異。目前已製成的熱離子管有用黃銅、鎳、不銹鋼、鎢及其他合金做外殼的。熱離子管工作液的種類更多，它包括鉀、鈉、銦、銫、鋰、鉍、水銀、水、木酒精、丙酮、氟氯烷（ *freon* ）、液態氮、液態氧及其他一些無機鹽等。事實上，熱離子管的外殼及其工作液的選擇都視熱離子管的應用情況而定。譬如在攝氏一千度以上的高溫時，熱離子管內部多用鉀、鈉等液態金屬，但熱離子管用於零下一百九十度時，則內部多用液態氮等。

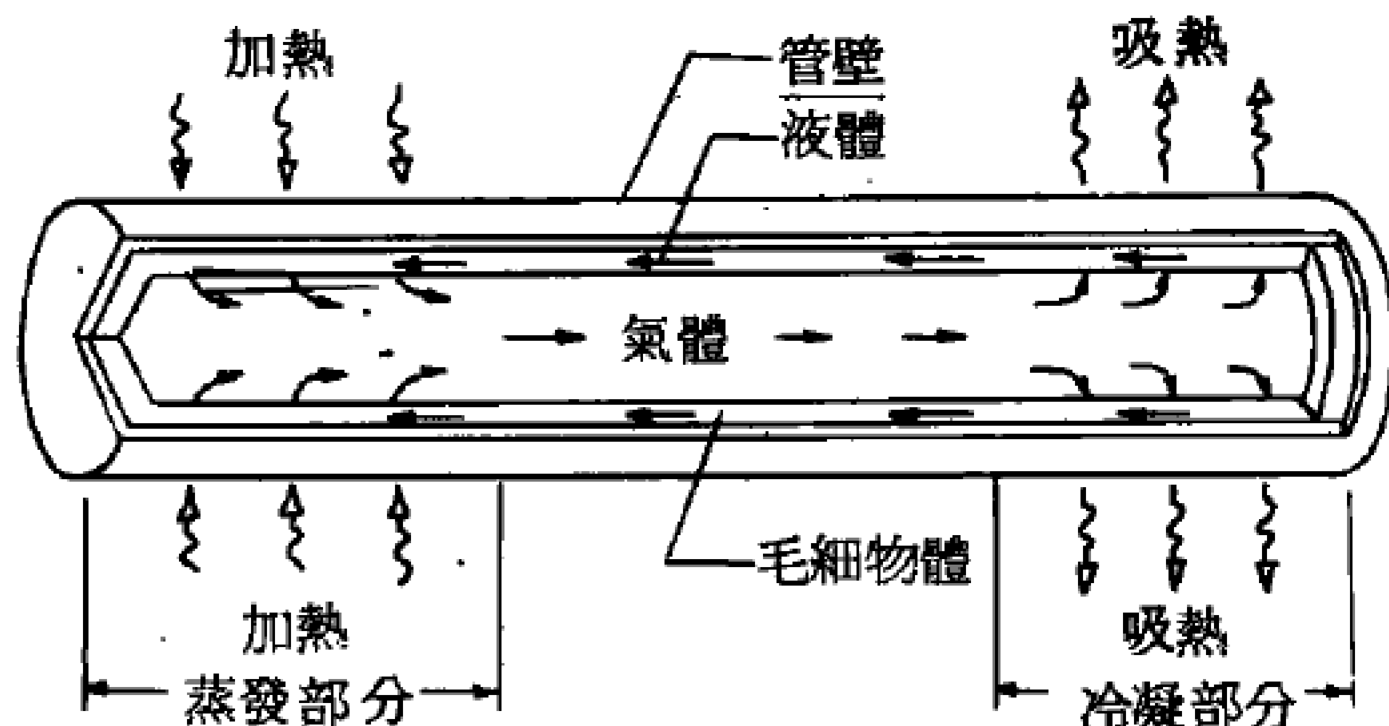


圖 15 — 80　熱離子管的基本結構

當熱離子管的一端置於較高溫處而讓另一端在較低溫處時，傳熱現象便開始產生。熱由高溫處首先穿過金屬管壁進入毛細物體中，毛細物

體內的工作液受熱開始蒸發。熱離子管在高溫處的部分便稱之爲蒸發部分（*evaporator*）。蒸發後的汽體聚集在蒸發部分的中空管內，同時向熱離子管的另一端流動。由於熱離子管的另一端接觸到較低溫處，當氣體到達較冷的另一端時便開始冷凝，在此時熱量就由氣體穿過毛細物體，工作液及金屬管壁而傳入較低溫部分。因此熱離子管在較低溫的部分便稱之爲冷凝部分（*condenser*）。在冷凝部分內原先由蒸發部分蒸發的氣體又凝結成了液體，這些冷凝後的液體因毛細現象（*capillary phenomena*）(圖 15－80)的作用自冷凝部分又流回了蒸發部分，如此流體循環不息，熱量由高溫處便傳到了低溫處，這便是熱離子管的傳熱原理。因爲蒸發和冷凝現象在幾乎相同的汽壓下進行，管內的溫差非常小。至於熱離子管二端外殼的溫差，則主要由於熱傳導由管壁外緣經過毛細物體、工作液到氣體所致。如把熱離子管和同體積金屬棒的二端置於同樣溫差之下，熱離子管的導熱量可以達到金屬棒的千倍以上。換句話說，當同樣的熱量通過熱離子管和同體積的金屬棒時，熱離子管二端的溫差要比金屬棒小很多。由於這種特性，熱離子管常被稱爲近等溫導熱裝置。總而言之，熱離子管在結構及原理上最特出的一點是毛細物體及毛細現象的應用。由於毛細現象的作用，在冷凝部分的液體可以不需外力的作用而流回蒸發部分，這使熱離子管成爲一個完全獨立而沒有活動零件的導熱裝置，同時也使熱離子管成爲太空中傳熱的獨特裝置，因爲毛細現象的作用在太空失重狀態之下仍可使流體流動。

熱離子管的優點很多，主要是由它在結構及原理上所具有的獨特性能；在結構上來看，它是個中空的管子，較同體積的金屬棒要輕得多。它的外表單純，當它和其他儀器連用時可省卻許多裝置結構上的麻煩。它又是個封閉的管子，不需添加工作液，它沒有活動零件，不會遭磨損，這使熱離子管能夠耐久可靠而無噪音。在原理上來看，熱離子管內部的蒸發及冷凝現象使它具有高效率及近等溫的熱傳導性能。此外，毛細

現象的應用使熱離子管內部的流體可以不藉外力作用而在太空失重狀態之下循環不息。這些優點幾乎可使熱離子管取代所有的熱傳導裝置。其中它的近等溫導熱性及在失重狀態下的適應力尤其爲太空工程界所重視，譬如在 1965 年秋季，美國太空總署放射的探險者三十六號測地衛星上已經用了熱離子管作爲傳熱裝置，在二個月的衛星運行中熱離子管的作用保持恆常，這證明熱離子管在太空上的應用完全成功。

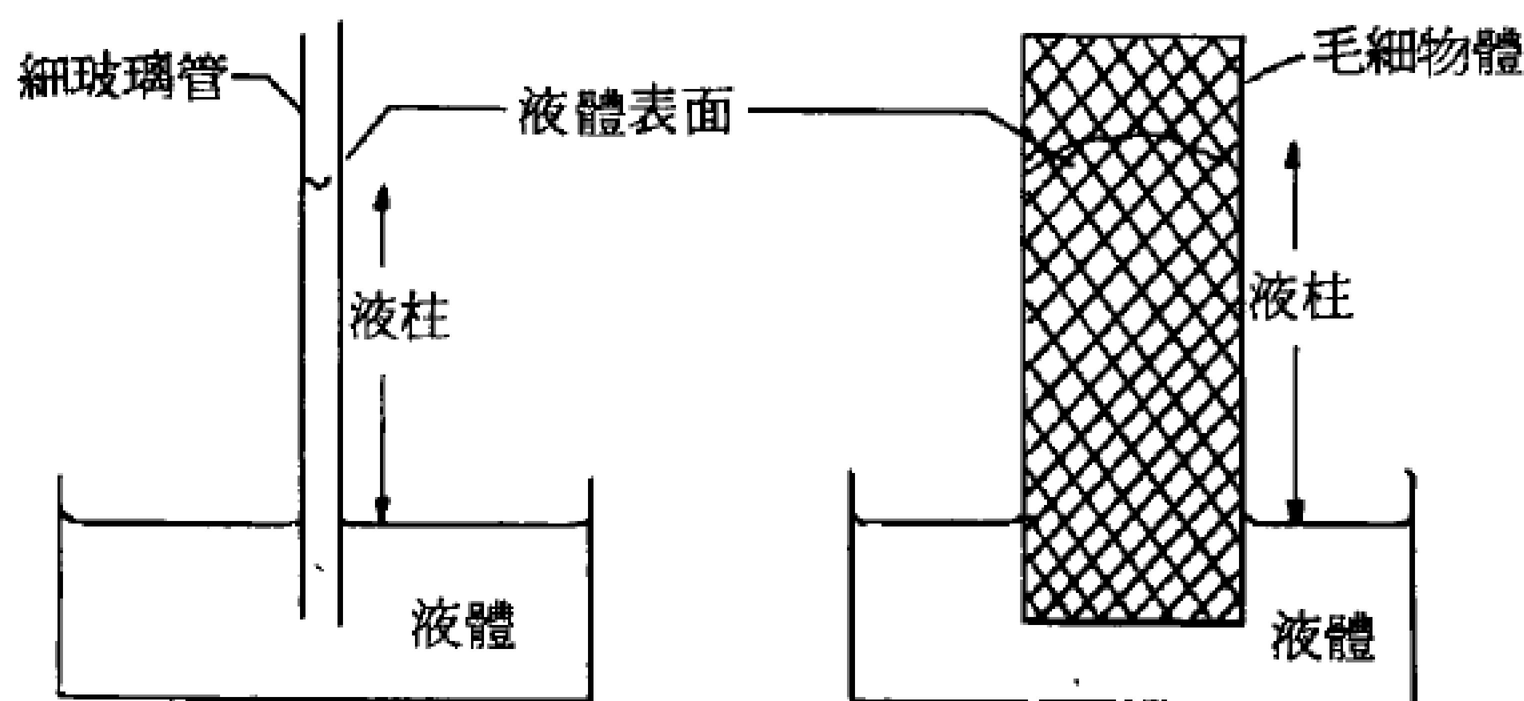


圖 15 — 81　毛細現象

由於熱離子管的優點如此多，其應用範圍非常廣泛；它可用於 −230°C 的低溫儀器中，也可用於高達 1,500 °C 的液態金屬反應爐中。它不但用於地面的一般裝置上，也用於太空之中。除了如前所述熱離子管可用做傳熱裝置外，其應用情形分點略述於下：

1. 能量轉換——當含有高動能的熱離子撞擊到熱離子管的一端時，熱離子的動能變成了熱能而傳至熱離子管的另一端，此稱爲熱離子轉換器（ *thermionic converter* ），此外，在太空上熱離子管可置於同位素熱電發電機（ *radioisotope thermoelectric generator* ）之中，使原子能轉變成熱能，再變成電能，以供給人造衛星及太空船之用。

2. 熱開關——當採用特種的毛細物體及工作液時，熱離子管的作用範圍可在控制之下。譬如當溫度低於工作液的冰點或導熱量超過熱離子管的導熱極限時，熱離子管無法作用。換句話說，在外界溫度變化很大時，熱離子管僅作用於一定的溫度範圍之內，在此範圍之外熱離子管終止其作用。這種情形有如自動開關一般。熱離子管的這種性能多用於自動控制及低溫（ *cryogenic* ）儀器之中。

3. 熱二極眞空管（*thermal diode*）——當熱離子管採用不同的毛細物時，它具有不同的導熱極限，通常粗鬆的毛細物具有較低的導熱極限。如將粗鬆及細密的毛細物同時置於一個熱離子管的二端，則當加熱於細密毛細物的一端時，熱離子管的導熱量很大。反之，當加熱於粗鬆毛細物的一端時，熱離子管因受導熱極限的限制，其導熱量較前者小很多。從另一方面來解釋，如以甲端代表含有細密毛細物的一端，而乙端代表含有粗鬆毛細物的一端。在熱離子管外界溫度變化很大的情形下，如甲端在高溫內而乙端在低溫內時，熱量可有效地自甲端傳至乙端。反之，當乙端在高溫內而甲端在低溫內時，乙端由於導熱極限的限制無法有效地傳熱至甲端。綜合來說，熱由甲端傳至乙端易，而由乙端傳至甲端難。這種現象有如二極眞空管的作用一般。熱離子管的此種功能多用於太空及低溫儀器之中。

4. 溫度控制（*thermal control*）——當熱離子管外界溫度變化很大時，其導熱量也隨之變化，然而熱離子管內部溫度的變化卻很小，此種禦熱（*heat shield*）性能及熱離子管的近等溫導熱性能可用於太空衣（*spacesuit*）、太空船及人造衛星的溫度調節及控制上。如果採用二種不同的工作液於一個熱離子管中時，熱離子管就會產生二個溫度區（*temperature zone*），這種情形也適合某些特殊的溫度控制。

5. 散熱——熱離子管可伸出於發熱裝置之外，以增加發熱裝置的散熱面積。由於熱離子管的導熱量大於同體積的金屬棒，它可取代一般散熱鰭（*fin*）的金屬片而增加其散熱量。熱離子管的此種功能多用於電子儀器的散熱裝置及人造衛星上的輻射鰭（*radiating fin*）等。此外，熱離子管也可裝於汽車內的引擎及車室之間作爲發熱器及車內溫度調節之用。

從以上熱離子管的應用中可知，自熱離子管發明至今，在短短數年之內已被廣泛地採用。然而熱離子管在應用方面的潛在力，還依賴理論

方面的研究才能更有效的發揮其作用。

【熱離子發射】（Thermionic emission）

金屬原子受熱激勵（能量變化發生激烈之攪動），即產生電子放射；謂之熱離子發射。此一現象與液體之蒸發相似，在正常溫度液體僅少部分成爲蒸氣（*vapor*）。然溫度上升，更多分子之熱運動克服液體凝聚力，而脫離表面，成爲液體之蒸發。

因爲電子在金屬中受到電子親和力（*affinity*），在常溫時僅相當少的電子有能力可突破金屬表面。但溫度上升，原子的熱運動使電子的動能增加，更多電子成功的突破金屬表面的障礙。

如電子發射離開金屬面，發射體原子成爲正電荷，部分欲出電子被引回到金屬裏，因此阻止以後電子的發射，因此無電場的作用，電子離開熱的金屬面不能很遠。

此一發射現象可由圖 15 — 82 表現。圓筒金屬鎢陰極或絲極（*filament*）置於眞空管的空間中，注入低壓之惰性氣體（*inert gas*）絲極在某一溫度部分電子受熱激而發射，其情形如圖 15 — 82 之(*a*)，當溫度提升，電子之動能與初速增加，發射情形如圖 15 — 82 之(*b*)。當溫度繼續上升，結果更大的熱激與電子速度增加，此時空間中電子形成一種電子雲，如圖 15 — 82 (*c*)。

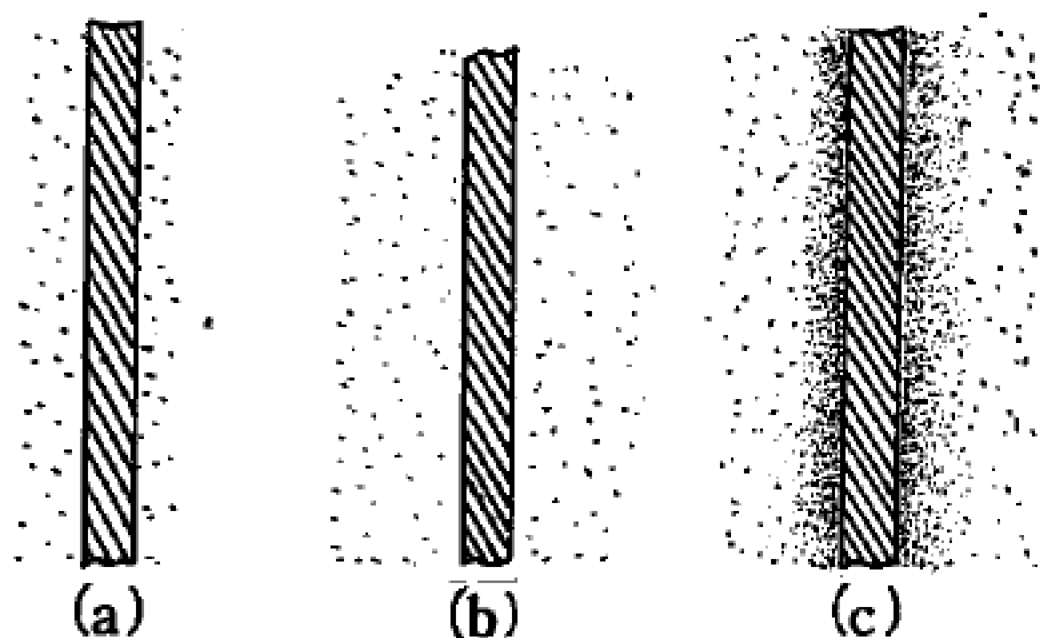


圖 15 — 82　熱離子發射與溫度之關係

設空間距離大於絲極若干倍，極多數的電子能離開陰極一段距離，在電子被迫回陰極前，不致超過 0.01 *mm*，僅極少數電子可離越 1.5 *mm* 而已。此發射的電子之初速度受到廣泛的限制，即極大多數電子的速度很低，僅少數的電子有足夠的初速度，進入電子雲堆中。

金屬電子發射初速度，其計算公式爲：

$$v = \sqrt{2 \frac{eE}{m}}$$

式中$\frac{e}{m}$爲電子荷質比＝ 1.76 × 10^{11}，E 爲金屬的工作函數。

發射物質的純度與表面清潔，對於熱離子發射甚爲重要，因爲雜質可以影響釋放能量，如空間中含有少量之水蒸氣。雖最佳之眞空，每立方公分體積內尚殘留 10^{6}空氣分子存在，因此減低了熱離子發射量。威爾遜（*Wilson*）發現熾熱鉑金屬絲極在氫或硝酸氣中，發射量減低到正常發射的 1／250,000。因此爲消除發射上之障礙，通常鎢絲周圍塗以釷（*Th*）、鍶（*Sr*）等物質。

物質溫度由絕對零度上升產生熱電子發射，可根據瑞查生、杜西曼（*Richardson-Dushman*）方程式表示：

$$J = AT^{2} \epsilon^{-q\phi/kT} = AT^{2} \epsilon^{-b_0/T}$$

式中 J 爲發射電流密度（*emission current density*），單位安培／平方公尺（A/m^{2}），T 爲溫度 °K 或（273 ＋ °C）。ϵ 爲自然對數底（*base of natural logarithms*）＝ 2.7183。q 爲電子之電量＝ 1.602 × 10^{-19} 庫倫。K 爲波玆曼常數（*Boltzmann constant*）＝ 1.381 × 10^{-23} $J/°K$。ϕ 爲工作函數（*work function*）單位爲伏特（$q\phi$ 表示工作函數時，單位用 eV）。A 爲常數 A/m^{2}（°K）^{2}。b_0 爲 $q\phi/k$（°K）。

純金屬燈絲的溫度較高，所需的加熱功率消耗大。低工作函數物質如氧化物之氧化鋇則工作溫度較低，且熔點較高，但若干種低工作函數元素其熔點甚低不適宜作熱離子發射之用。

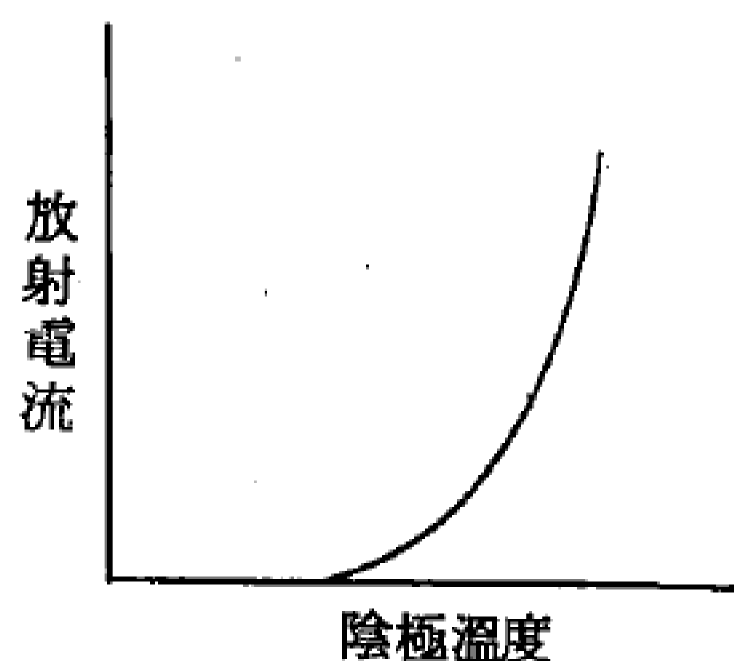


圖 15 — 83
熱離子發射曲線

圖 15 — 83 表示上式之曲線，曲線表示熱

離子發射體發射電流飽和密度，非為眞空管內電流流向屏極者。

【熱離子效應】(Thermionic effect)

利用一高度眞空管，管中有一表面已經氧化之鎢絲，鎢絲又為一金屬筒（陽極）所環繞（圖 15 — 84）。設使鎢絲與一蓄電池之負極，金屬筒與其正極相連接，則在初時，串聯在電路中之安培計，並不顯示有電流通過。但若用一手電筒電池使鎢絲變成紅熱，則安培計中卽見有一數毫安培大小之偏轉（圖 15 — 85）。此種現象稱為熱離子效應。此現象在無線電或電視接收機之燈泡，卽電子管廣為應用。在反應爐中熱原子由爐中核燃料之條塊或加鞘套之條塊所組成，電子乃被圍繞燃料四周之冷的蓋罩所聚集。

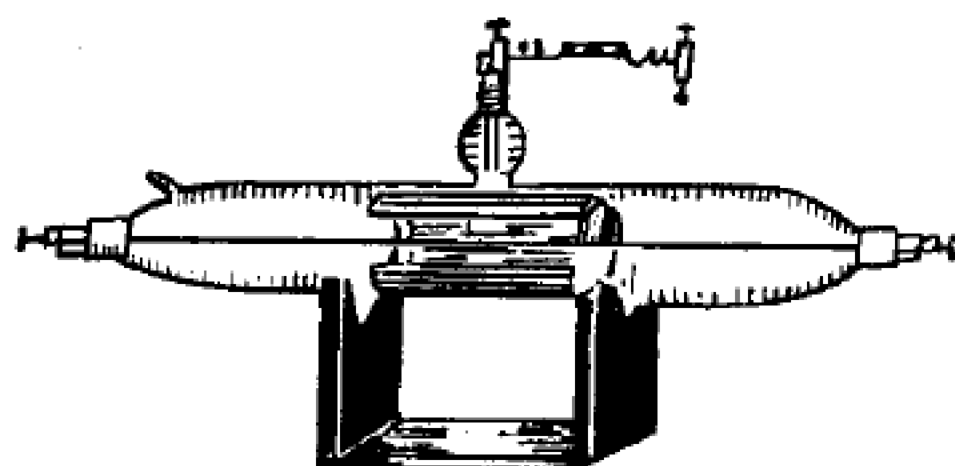


圖 15 — 84 高度眞空管

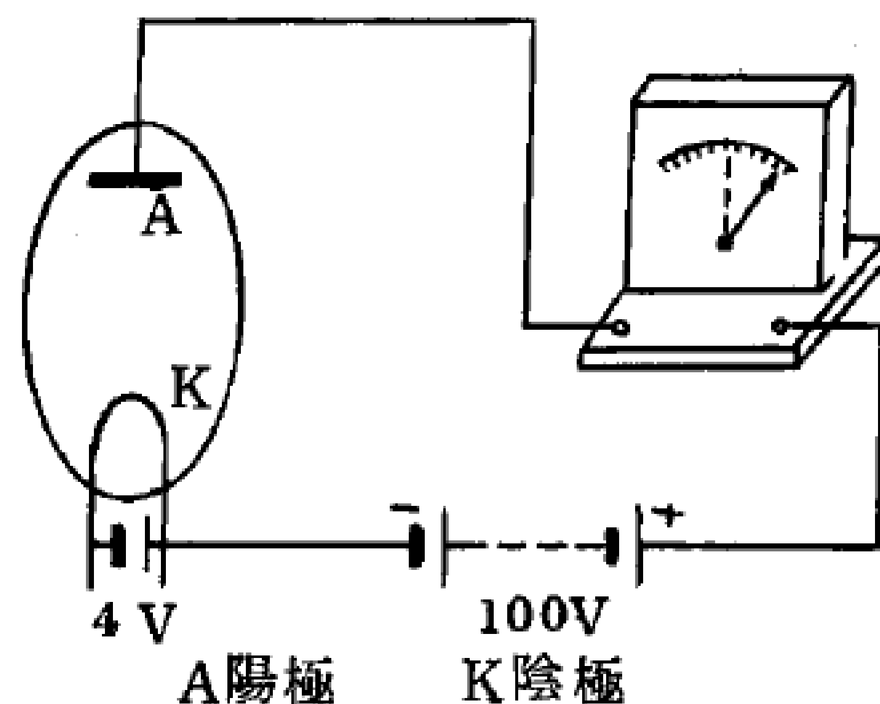


圖 15 — 85

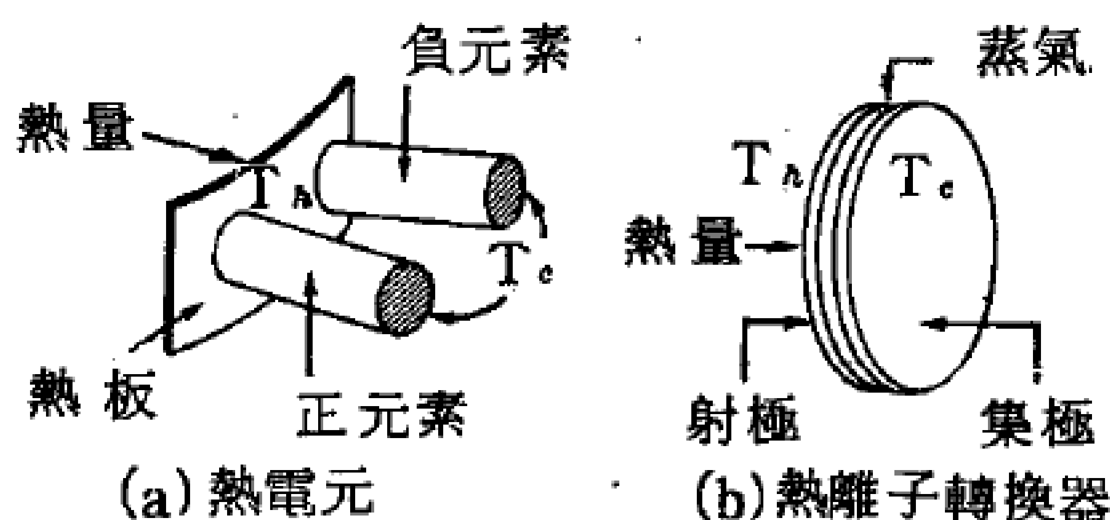
熱離子效應，當鎢絲變成紅熱以後，卽有一數毫安培大小之電流發生。圖中左方之符號代表高度眞空管

【熱離子轉換】(Thermionic conversion)

從高溫金屬表面蒸發電子，再凝聚在較冷的金屬表面上，使熱能轉變成電流，不需任何部分作機械運動就能產生電流。

【熱離子轉換器】(Thermionic converter)

熱離子能量轉換的操作原理與熱電方式完全不同（圖 15 — 86）。熱電元通常為香煙形的圓柱體，而熱離子轉換器用在同位素發電機者通常呈扁形，有如銅板一般的片狀物，中間留有一小小的空隙，大約



(a) 熱電元 (b) 熱離子轉換器

圖 15 — 86

爲0.02厘米，裏面充滿了一種金屬的蒸氣，例如銫（*Cs*）的氣體。因爲熱端的溫度（T_h），必須維持很高以使電子由發射體（*emitter*）裏跑出來，因此卡諾（*Carnot*）效率通常均可以達到很高的地步；但是這個有利的情勢並不能維持多久，因爲在這麼高的溫度下同時也將增加轉換器四周熱量的損失。

在熱離子轉換器裏能量的損失是屬於多方面的，首先熱量經過狹窄的空隙以熱輻射的方式會損失一部分。還有如果由發射體裏所發出的電子以極高的速度撞擊到收集體上去，它們的動能又將會變成無用的熱量。這種的能量損失可以控制，但是通常都把精力用在減少能量轉換器四周的熱量散失較有價值。

【熱騷動】（Thermal agitation）

物體受熱溫度上升時，分子運動加速的現象。氣體物質之熱騷動最爲激烈，液體次之，固體最緩慢。

【熱變電阻器】（Thermistor;Thermally sensitive resistor)

卽熱阻體，半導體內受激跳越禁戒能隙的電子數增加極速，因此它對溫度有十分靈敏的反應。利用這種反應可以製造熱電溫度計（*electrical thermometer*）以測量溫度的變化等。由於金屬氧化物有耐熱的特性，故多用來製造熱變電阻器（一種對溫度變化十分敏感的電阻器），利用這種熱變電阻器，可以測出攝氏百分之一度的溫度變化。在測量溫度變化以及多種工業製造過程中，已經廣泛使用這種裝置。熱變電阻器的另一常見用途，是把它們連接在手提收音機的線路中，以抵銷機內電晶體因溫度而起的變化。

熱變電阻器持有很大的負電阻溫度係數，其電阻與溫度的關係（圖15－87）略等於 $R = R_0 e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$

式中R爲$T\,^\circ K$時的電阻，R_0爲$T_0\,^\circ K$時的電阻（初期電阻）而B則稱爲熱

變電阻器常數（單位 °K ），而電阻溫度係數爲

$$\alpha=\frac{1}{R}\cdot\frac{dR}{dT}$$

由上式 R 得　$\alpha=-B/T^2$

因熱變電阻器有負性電阻變化，與金屬類的電阻溫度變化有相反的變化，可以利用於電路電阻的溫度補償或定電壓用。流通熱變電阻器內電流如增加（如圖15—88 ），則因自己加熱結果引起電阻的減少，電壓降則減少，此特性可被利用於氣體分析儀、流量計、風速計等。又在熱變電阻器內因重複自己加熱引起的電阻減少，電流增大現象，則遲延達到平衡狀態需經的時間（如圖 15 — 89），此特性則被利用於計時器或保護電路等。

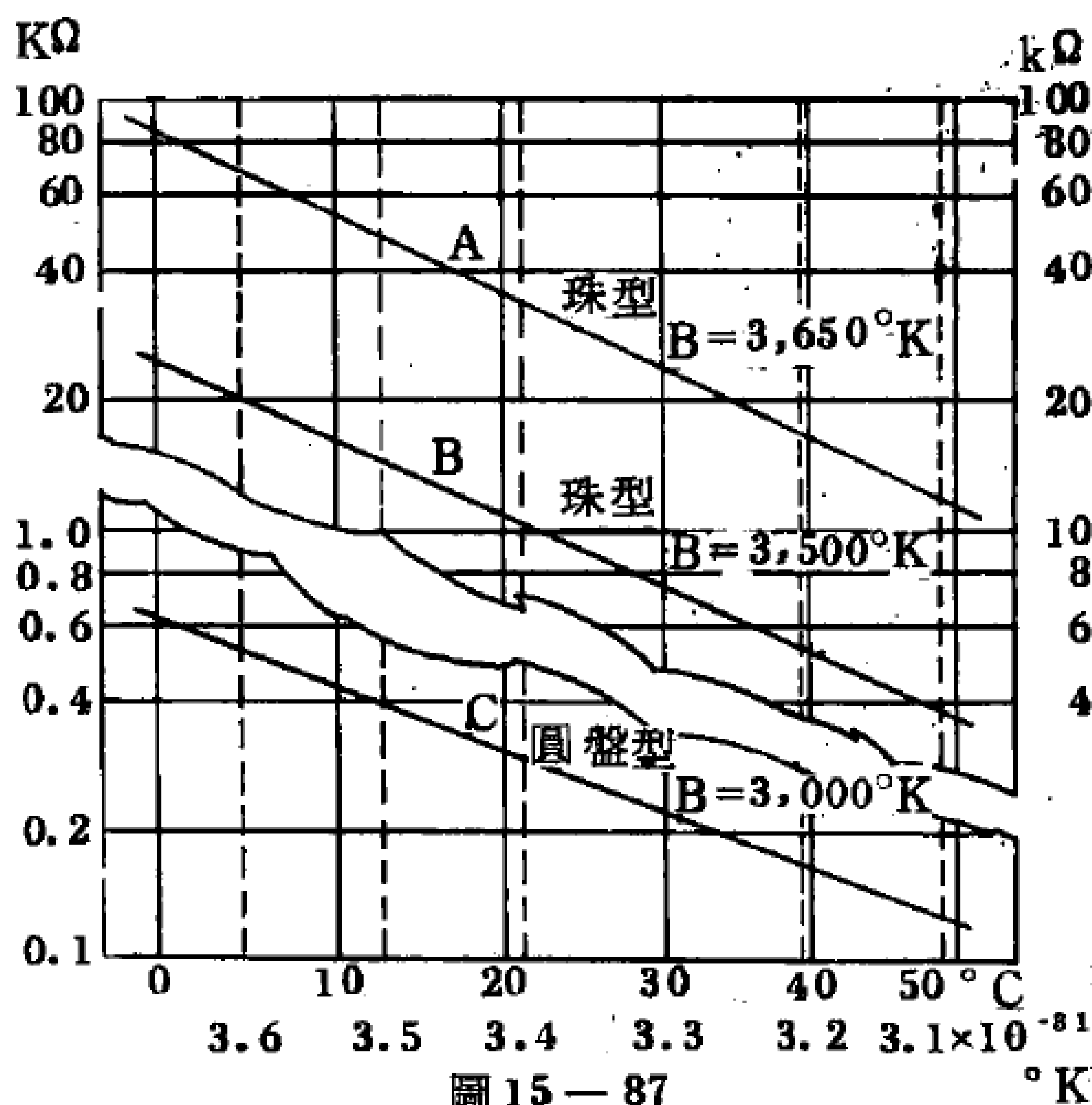
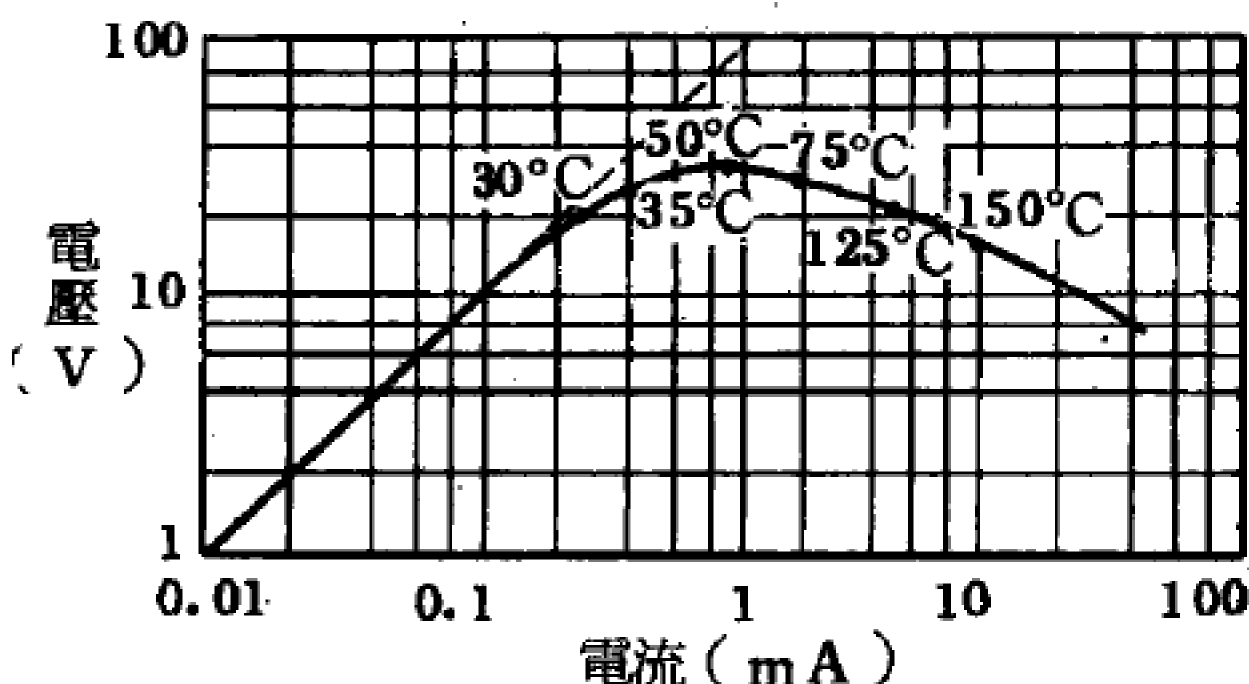


圖 15 — 87

電阻溫度特性（對數圖表）利用半對稱圖表，表示（R～R₀ /T °K ）的關係，溫度爲 °C 單位溫度



25 °C 時電阻 100KΩ，B = 3,900° K

R = mW / °C 熱變電阻器的例

圖 15— 88　電流電壓特性

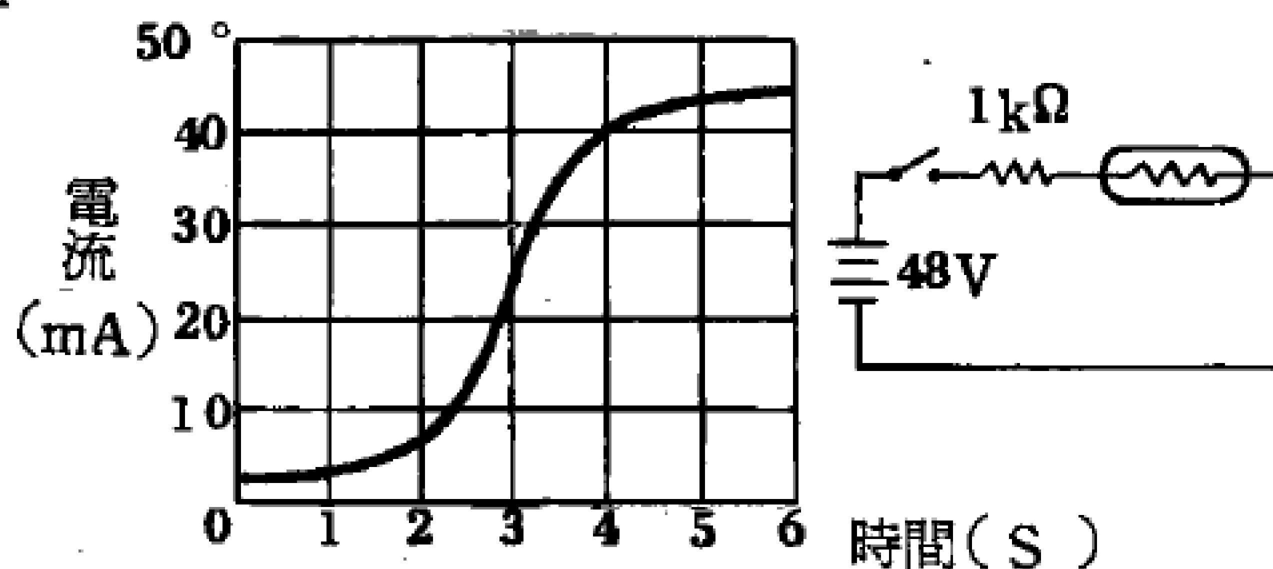


圖 15 — 89　遲延特性

【熱變電阻溫度計】（Thermo - electric thermometer ）

利用熱變電阻器，負性

電阻變化，以敏感的檢出電路，測出而求溫度的計器。可以與普通溫度計同樣使用。特別適於(1)點測定，(2)有時間變動溫度的測定（因小型，熱容量小），(3)遠隔測定（因電阻大，不受導線電阻的影響）。使用於最高約 350°C，最小分劃為 0.05°C 的測溫。

【熵】（Entropy）

量度物系作功能力的物理量就是熵。熵的觀念可用可逆過程來定義它。在一個簡單的卡諾循環（*Carnot cycle*）裏，一個卡諾機在高溫熱庫 T_1 吸收的熱 Q_1，和在低溫熱庫 T_2 放出的熱 Q_2，有如下的關係：

$$\frac{Q_1}{T_1}=\frac{Q_2}{T_2}$$

如果我們著眼於物系本身而採取新的表示法，即物系吸熱時 Q 為正，放熱時 Q 為負，那麼上式可以被改寫成（Q_2 為放熱是負值，所以在新表示法裏，要用 $-Q_2$ 取代。）

$$\frac{Q_1}{T_1}+\frac{Q_2}{T_2}=0$$

又在兩個絕熱的過程中，Q/T 都是零。因此，作為工作物質的物系，在經過一個卡諾循環後，Q/T 的總和等於零。

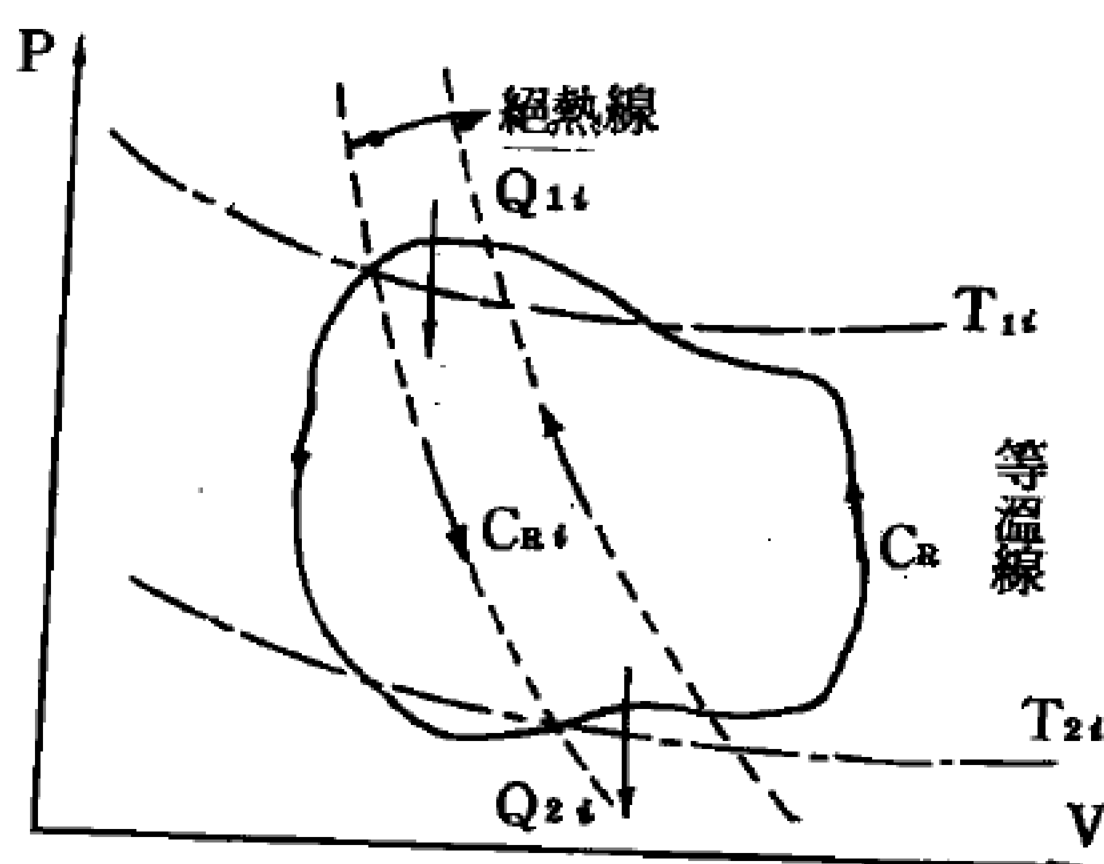


圖 15 — 90
任意一個可逆循環，可以分成無數的卡諾循環的集合，$C_R=\Sigma C_{Ri}$。

任意一個可逆循環，如圖 15 — 90 所示；都可用等溫線和絕熱線把它分割成無限個微小的卡諾循環的集合（分得越細越準確）。對每一個小卡諾循環 C_{Ri} 而言，$\frac{Q_{1i}}{T_{1i}}+\frac{Q_{2i}}{T_{2i}}=0$。由於物系走遍了每一個小卡諾循環等於走整個大可逆循環，所以，經過一個可逆循環後，物系所吸的熱 Q 和溫度 T 之比的總和為

$$\Sigma\frac{Q}{T}=\sum_i\left(\frac{Q_{1i}}{T_{1i}}+\frac{Q_{2i}}{T_{2i}}\right)=0$$

當分割到無限小的極限時，上式可被寫成

$$\oint\frac{đQ}{T}=0$$

$đQ$是物系在溫度爲T時所吸進的熱流。上式表示：在可逆過程中，$\int_1^2\frac{đQ}{T}$的值與所走的路徑無關，而由狀態 1 和狀態 2 所決定；或者說 $\int_R\frac{đQ}{T}$ （R表示循可逆過程）是一個狀態函數。茲定義一個狀態函數叫做熵S如下：

1. $S_2-S_1\equiv\int_{R1}^{2}\frac{đQ}{T}$（$R$表示連接 1、2 兩點的任意可逆過程。）

2. 選取一個狀態爲基準，令其熵值爲S_0。

那麼，任一狀態的熵值可寫成

$$S=\int_{R0}\frac{đQ}{T}+S_0$$

由以上的定義，可以看出，一個物系的熵只定義到一個未定的常數；不同的物系，無法比較兩者熵的大小。這問題須利用熱動學第三定律才能解決。故假定在一個物系的任意兩個狀態之間，至少有一個可逆過程可資相連。

由熵的定義，假若狀態 1 和狀態 2 之間的差別爲無限小，可以有

$$dS=\frac{đQ_R}{T}$$

R表示$đQ$的無限小的熱流傳遞是一個可逆過程。由於S是一個狀態函數，dS是一個完全微分。上式有時稱爲熱動學第二定律的數學形式。由該式可以看出，一個系統的熵，基本上是由這一系統的熱容量（升高它溫度所需的熱量）所定義的。熵是對於此系統的無序性（ *lack of*

order）或混亂度（*randomness*）的一種測量，熵的數值愈高，也就表示這一系統中粒子或分子的分佈愈混亂。當物質在被冷卻的時候，它內部分子的運動減少，使它的秩序性增加（混亂度減少），而減小了熵值。在絕對溫度零度時，大部分物質的熵都變成了零。

由於自然反應的過程中，都有趨向最大亂度的傾向，故所有不可逆的反應，其熵值都是增加的。此外，熵也可以從統計的觀點來定義，對一含很多質點之系統而言，在可達之能態中，對質點之每一配分 n_1，n_2，n_3，……，可指定某一或然率 P，一系統之平衡配分（視系統組成分子之性質而定），相當於在不同的可達能態中分子之最可能分佈，在這種條件下，P 爲最大值，若系統雖孤立而不在平衡狀態，可假設其配分（或分佈）或然率較最大或平衡者爲小，在其組成分子或分子間交互作用之情況下，其在相當時期將演變到達最大或然率配分，此時系統到達統計平衡，而不希望 P 再增加，除非系統受一外來作用的擾亂。

由於朝最大或然率之配分發展而產生統計平衡，欲描述這個趨統計平衡的自然傾向，便引出了熵這個概念，其定義爲

$$S = k \ln P$$

式中引進波茲曼常數（*Boltzmann constant*）k，以便於寫出一些在此不考慮的式子。故一系統之熵乃一與配分或然率之對數成正比之量，該配分或然率係相當於系統之狀態者。

這個熵的定義適用於任何分法或狀態，不論其爲平衡者或爲不平衡者。此定義亦表示一系統之熵乃爲系統狀態之一性質，因其由起始及最後配分之或然率決定，故一系統當其從一狀態至另一狀態時，其熵的變化與所經過的過程無關。所以在可逆過程中，系統和環境的熵並不改變，而對於絕熱過程（可逆或不可逆），可得

$$S_f = S_i \quad （可逆絕熱過程）$$

及

$$S_f > S_i \quad （不可逆絕熱過程）$$

S_f 和 S_i 爲系統的末熵和初熵。

熵的觀念是克勞修士（*R. J. Clausius*）大約在十九世紀中葉首先引用於理論物理的。在那時以前，熱與功的關係，以及它們在熱機操作中的身分等問題方面，有相當大的混亂。卡諾（*Carnot*）、泊替（*Petit*），克雷門（*Clement*）和笛索姆（*Desormes*）等偉大的法國工程師，對熱力學第一定律知道得不清楚。卡諾認爲熱機將功輸出，乃是某個量的熱離開高溫熱庫，並有同量的熱進入低溫熱庫的結果。泊替和克雷門計算熱機效率時，只計及動力衝程中所作的功而非像卡諾所堅持的那樣去計算整個循環中的功。所以可說，"由於使熱力學離開熱機的設計而發展，熱力學才在克拉泊壤（*Clapeyron*）、克耳文（*Kelvin*）和克勞修士的手裏開始進步"。

【熵增大原理】（**Principle of increase of the entropy**）

在不可逆過程，變化後物系和外界的熵之總和必增加，稱爲熵增大原理。例如，若在等壓絕熱條件下，功 W 變成物系的內能，物系溫度從 T_i 升至 T_f，則一切熵的增加等於 $C_p \ln \frac{T_f}{T_i}$，C_p 爲等壓比熱。又在絕熱條件下，使 n 克分子理想氣體自體積 V_i 自由膨脹至 V_f，則熵的變化等於 $nR \ln \frac{V_f}{V_i}$，此爲正數。

在不可逆過程後，部分可用能變成不可用能，這不可用能等於當時可用的熱源的最低溫度 T_0 乘熵的變化（$S_f - S_i$）。因爲自然現象均爲不可逆變化，故熵不斷地增加，而可用能繼續變成次級的不可用能，這稱爲克耳文（*Kelvin*）能量降級原理，內容和熵增大原理完全相同。在統計力學中，熵增大原理可用分子運動混亂程度的增加，即熱力學機率的增加而加以說明。

【磅】（**Pound**）

質量之英制單位，1磅＝0.4536仟克

【磅達】（**Poundal**）

力之英制單位，簡寫爲 *pdl* 。作用於質量爲 1 磅之物體，使產生 1 呎秒 $^{-2}$ 之加速度所需之力，稱爲 1 磅達。即磅達＝呎磅秒 $^{-2}$ 。因爲 1 磅＝ 0.4536 仟克，1 呎＝ 0.3048 米，故

$$1\text{ 磅達} = (0.3048\text{ 米})\times(0.4536\text{ 仟克})\text{ 秒}^{-2}$$
$$= 0.1383\text{ 牛頓}$$
$$= \frac{1}{32.17}\text{ 磅}$$

【碼】(Yard)

英制長度單位，1 碼＝ 3 呎。

【磁力】(Magnetic force)

電荷間除了有電力外，一運動中的電荷也會施另一種力於另一運動的電荷。這種與電荷的運動有關的作用力稱之爲磁力。磁力的作用方向與電荷的運動方向垂直。這是由於此電荷運動時（相當於電流流過），它會產生另一種力場，即磁場。因此，當另一電荷也在運動時，爲方便起見將二電荷之間的磁交互作用想像成前一運動電荷所生的磁場施一力於後一電荷。所以，我們也可以說磁力爲電荷在力場內運動時所受的力。若一質點所帶的電量爲 q ，速度爲 $\vec{v}$，磁場強度爲 $\vec{B}$，則質點所受磁力爲

$$\vec{F} = k' q \vec{v} \times \vec{B}$$

k' 爲比例常數，與選用的單位制有關。

兩磁極間相互排斥或吸引的力也叫磁力。其大小和兩磁極的磁強的乘積成正比，而和它們之間距離的平方成反比。即

$$F = k\frac{m_1 m_2}{\mu d^2}$$

式中 m_1 ， m_2 分別爲兩磁極的磁強， k 爲比例常數， μ 爲介質的導磁率 (*permeability*) 。

【磁力比】(Magnetomechanical ratio)

在廻轉磁化現象中磁矩與角動量的比，等於 $\frac{g'e}{2mc}$ ，其中 e 是電荷，m 是質量，c 是光速，g' 是磁力因子。

【磁力式揚聲器】(Magnetic loudspeaker)

如圖 15－91所示。在永久磁鐵之間，放一線圈，再在線圈中通一鐵片。當聲音電流通過線圈時，線圈即變成電磁鐵，而通在線圈中間的鐵片也變成磁鐵。鐵片的磁鐵就被永久磁鐵所吸引，以支點作爲中心而動。這種振動傳到振動板，引起空氣的振動而產生聲波。這種揚聲器的音質比動力式的略差一點。

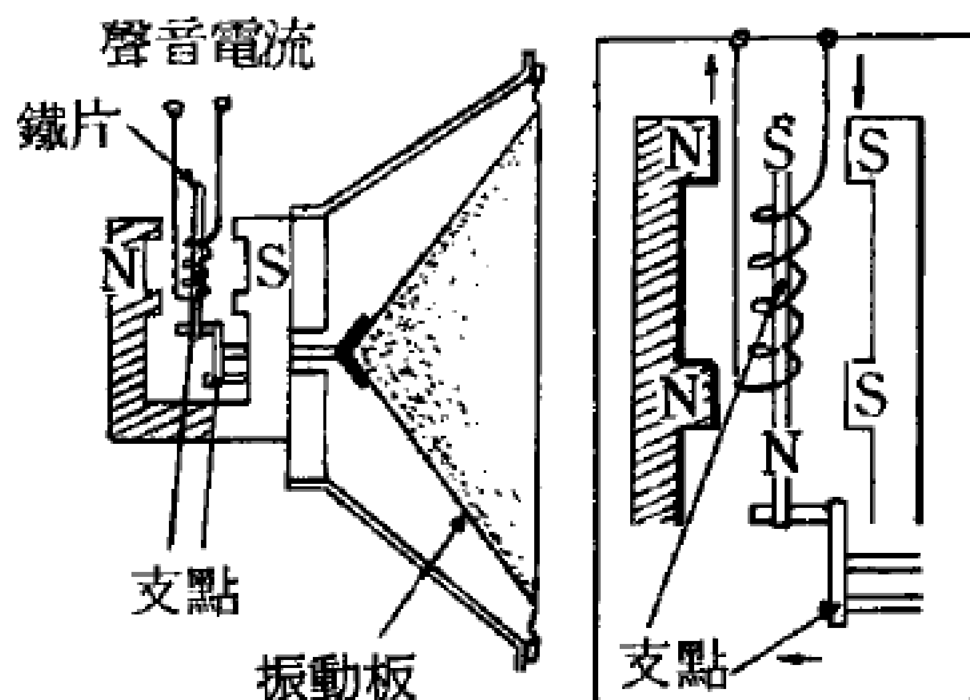


圖 15－91　磁力式揚聲器

【磁力庫倫定律】(Coulomb's law of magnetic force)

庫倫 (*Coulomb*) 在 1785 用扭秤 (*torsion balance*) 實驗，推定兩磁極間相互作用之力，與兩磁極的磁強乘積成正比，與兩磁極間距離之平方成反比。稱爲磁力庫倫定律。其方程式與庫倫靜電定律相同：

$$F = k\frac{m_1 m_2}{\mu d^2}$$

式中 F 在 $M.K.S.$ 制中的實用單位爲牛頓。k 爲比例常數，在實用單位制中 $k = 10^{-7}$。μ 爲介質的導磁率 (*permeability*) 在眞空中 $\mu = 1$，空氣的導磁率爲 1.0000004 故視同眞空。d 爲距離，單位爲公尺。m 爲磁極強度，單位爲韋伯／m^2。

【磁力偏差】(Magnetic declination)

磁性的北極，不是地球眞正的北方。地球的北方我們稱爲眞北，也就是地理的北極；羅盤磁針所指的北方，我們稱爲磁北。如圖 15－92。磁北與眞北的偏差角就是磁力偏差，亦稱爲磁差角。磁力偏差會因爲不同的地方略有不同，航行上所使用的北方是磁針所指的磁北，而我們

使用的地圖所量出的方向是地理的北極，所以必須將磁力偏差多少考慮進去，加以修正，然後才能決定航行的角度，以免發生意外。

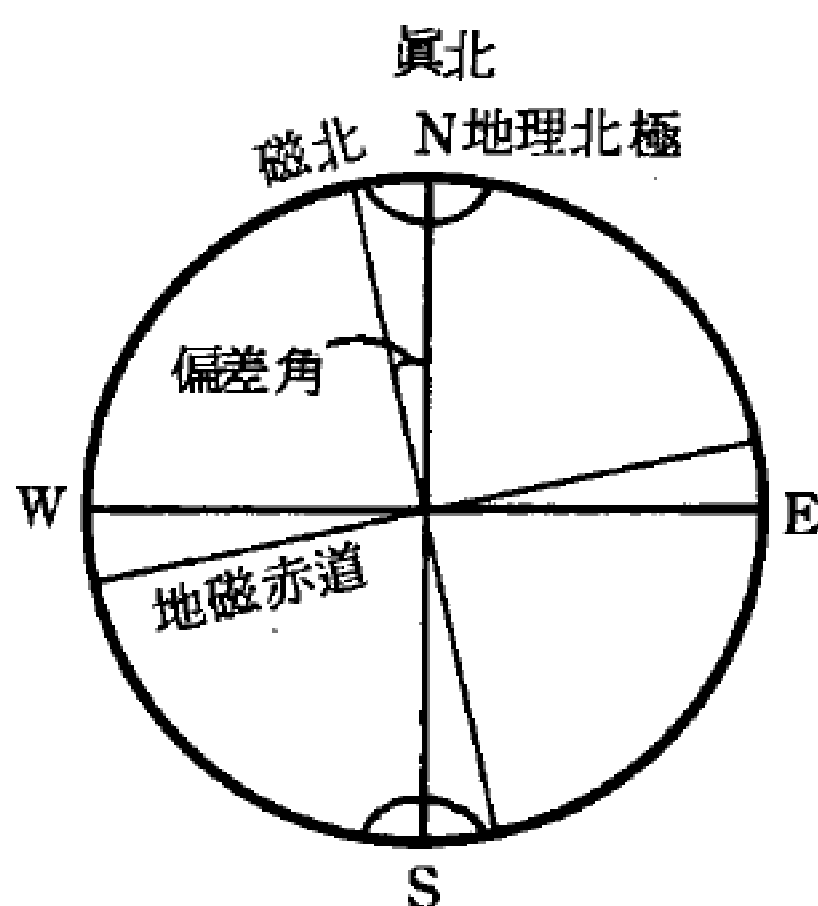


圖 15 — 92　地球的磁極

【磁力層】(Magneto sphere)

離地球800公里以外到行星太空間有離子及電子，不過約在200公里以上，離子及電子的軌跡由於密度減少而不同。在200公里以下，帶電粒子的軌跡是直線的，直到它碰到另一粒子回彈後，仍爲直線運動。在200公里以上，中性的原子及分子密度太低，一個粒子可走100公里才會被撞到，所以一個粒子不再靠碰撞來決定它的行程，而是離子及電子沿磁力線旋進。自200～60,000公里間在地球陽面及自200～240,000 公里在地球陰面的性質是靠地球磁場來決定，我們稱這一區域作磁力層，也就是范艾侖(*Van Allen*)帶，捕捉的輻射帶，其中某些地區有很高的放射性，可使沒有保護的人在數小時內受到致命的照射。即使有遮蔽掩護亦不適於建立有人的太空站，不過只要有如在阿波羅(*Apollo*)上的一般遮蔽，即足夠使太空人安全通過輻射帶飛往月球去而不至於超過安全規定劑量。

約在地球陽面60,000公里，磁力層及輻射帶有明顯的界限，界限以外，有一混亂區，太陽風在這裏停下來，混亂區外有一震面(*shock front*)，再外即屬行星太空。

【磁力線】(Lines of magnetic force)

表示磁場強度的大小及方向的曲線稱爲磁力線；猶如以電力線表示電場強度的大小及方向一樣，此種概念由法拉第(*Faraday*)首創，雖屬假想者，然而實際上應用頗廣，其具有下列性質：

1. 磁力線爲一封閉線無起點及終點。可看作由N極出發，而止於S極，再經磁鐵內部而回到N極。

2. 磁力線在空間某點的切線方向，即爲該點場力的方向。

3. 磁力線在空間某點的疏密程度，表示該點磁場強度的大小。

4. 磁鐵的內部及外部均有磁力線的存在。

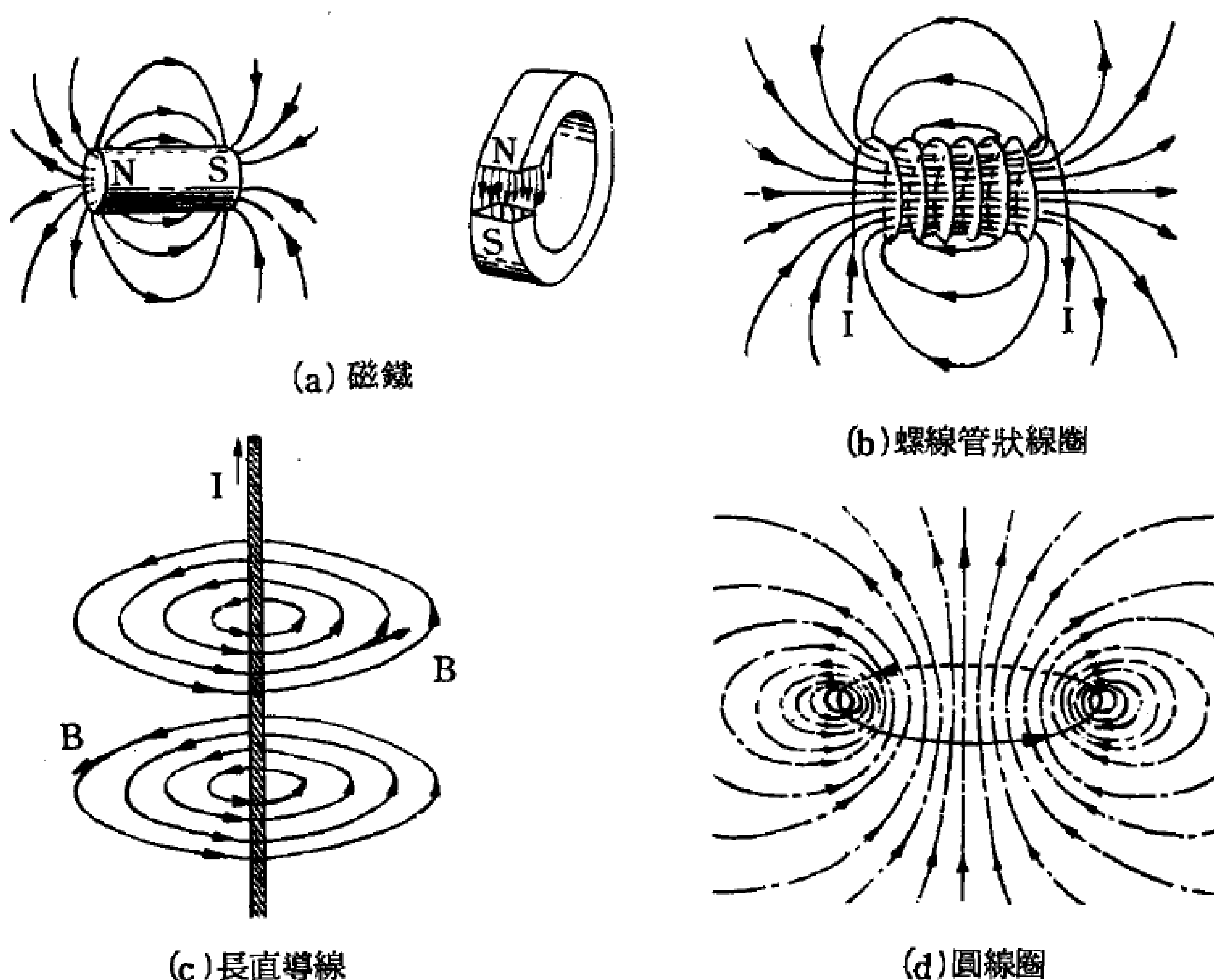
5. 磁力線絕不相交。

6. 磁力線有縮短的趨勢，故異性磁極會互相吸引。

7. 磁力線有互相排斥的本能，故同性磁極會相斥。

8. 磁力線在軟鐵內較在空氣中易於通過，故在磁場中如有軟鐵，則附近之磁力線，常呈歪曲而偏向，且軟鐵將變成磁極。

通常由一小磁針在磁場中各不同位置所指之方向，以附箭頭之曲線



(a) 磁鐵

(b) 螺線管狀線圈

(c) 長直導線

(d) 圓線圈

圖 15 — 93　各種磁場的磁力線

描繪之，如圖 15 — 93 。

【磁力學】(Magnetism)

研究地球磁，外太空磁力和磁力用途的一門重要科學之一。

【磁子】(Magnon)

當鐵磁物質在基態時，其所有自旋方向均爲平行。設此自旋系的最低激發態，爲當一個自旋方向反轉時之狀態，而交換交互作用只及於最鄰近的自旋時，則此激發態呈波形而稱爲自旋波（ *spin wave* ）。自旋波量子化稱爲磁子。

【磁子午線】(Magnetic meridian)

在某處作一垂直平面，通過指南針之磁軸，此平面與地球相交之大圓，即稱爲該處之磁子午線。

【磁元】(Magneton)

對於自由粒子來說，那些帶有整數自旋的粒子是波子（ *boson* ）。而那些帶有半整數自旋的粒子則是費子（ *fermion* ）。磁元是代表一個向上自旋的電子將它的自旋轉成向下，它自旋的變更是 1 。磁元的自旋是整數，它是一個波子。

【磁心】(Magnetic core)

磁心是由磁性金屬材料所組成，爲最主要的記憶單位之一。它只能儲存兩進位制的數字系統，亦即 0 或 1 ，當電流通過，即產生電磁場，而方向則視電流方向而定。

電腦記憶器所包含的磁心數目，通常是數千萬以上。由於事實上的需要，須將資料讀寫於記憶器中的某些磁心中，但磁心須有固定的位置或編號，俾能尋找選擇某些特殊的磁心，作爲記憶之用。

【磁化】(Magnetization)

使物體帶磁性之作用，謂之磁化。例如以永久磁鐵摩擦鋼針，鋼針即被磁化而帶有磁性。因之，將強磁性體放在磁場內，該磁性體便被磁

化而其磁場方向爲N極，另一端則爲S極。我們可以把磁性體裏的每一個原子，想像成一塊小的磁鐵。在一塊金屬尙未磁化以前，這些小的原子磁鐵，排列並不規則（圖15－94 (*a*)）。其微弱的吸引力，在內部已互相中和，都不能對外發生作用。

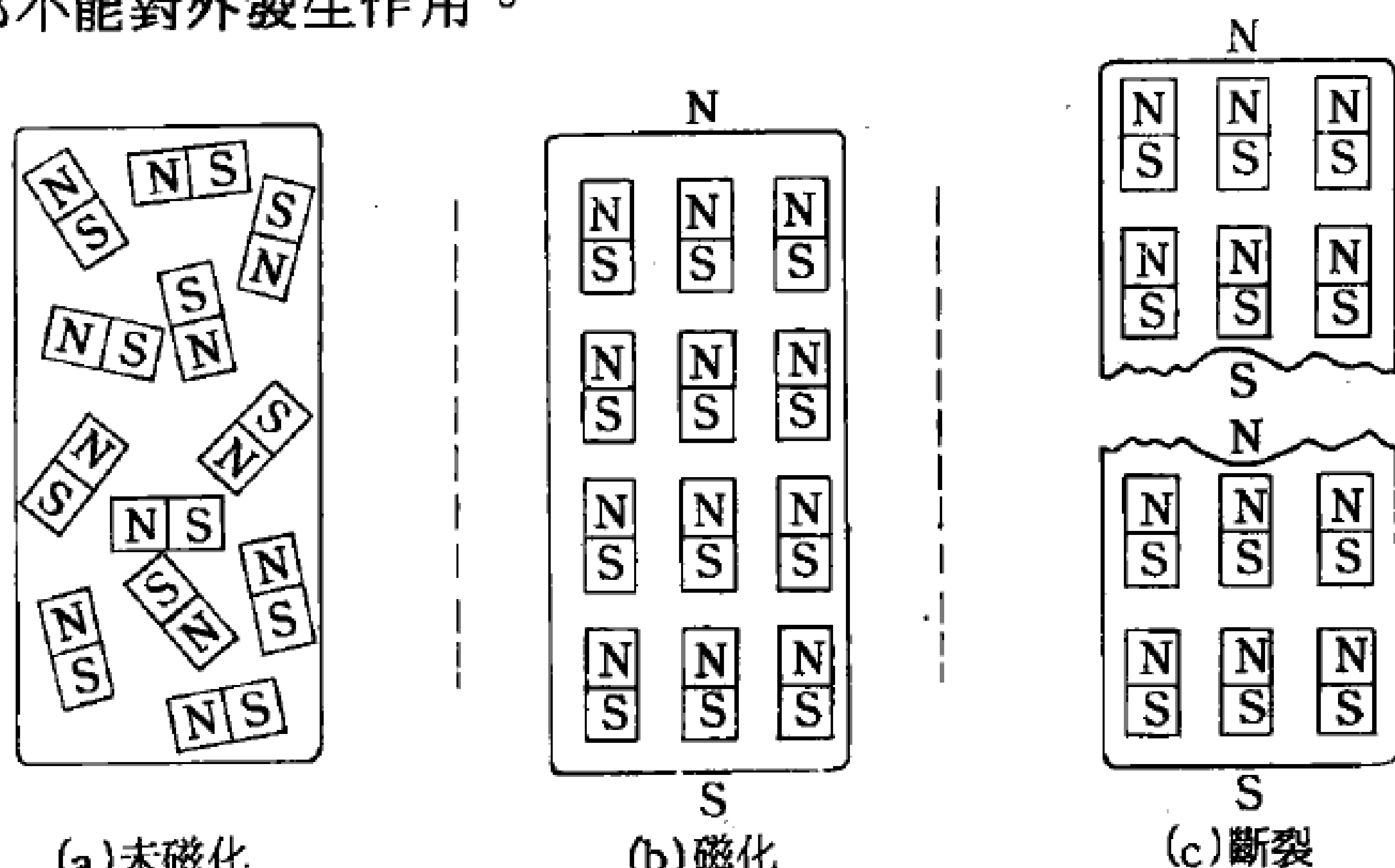


圖15—94

每一個分子是一個小型磁鐵，可依某一固定方向排列起來

金屬的磁化，即是將原來就存在於內部所有的小型磁鐵按順序排列起來，使所有的N極朝向一端，而所有的S極朝向另一端（圖 15 － 94(*b*)）。若只有部分原子排列整齊，則此棒並非強的磁鐵，這種情形，稱之爲不飽和磁化。若所有的原子都排列整齊，磁棒的磁性已達到最大限度，則稱之爲飽和或完全磁化。

鐵甚易磁化，但其磁性不能持久，因其分子磁排列十分迅速，但磁鐵一經移去後，即又恢復其混亂狀態。鋼的分子磁則較難整齊排列；但一經整齊排列後，其滯留於新位置的時間也較長，在專門術語上，我們稱鋼具有較大之矯頑磁力。

【磁化力】（Magnetizing force ）

使物質感應生磁之磁場強度名爲磁化力。

【磁化向量】（Magnetization vector ）

假設有一圓柱形的物質平行於其軸線均勻磁化（圖 15 － 95 ），此意謂著分子的磁偶極的指向平行於圓柱體的軸線，因此分子的電子流方

向則與圓柱體的軸線垂直。由圖 15－95(在圖 15－96正面圖中更詳細)可知，因相鄰電流的相反效應使內電流趨於彼此抵銷，所以在物質內部的淨電流為零。然而，因磁化作用在物質的表面上能引起一淨電流 I_{mag} ，故此圓柱形物質的行為如同一螺線管。

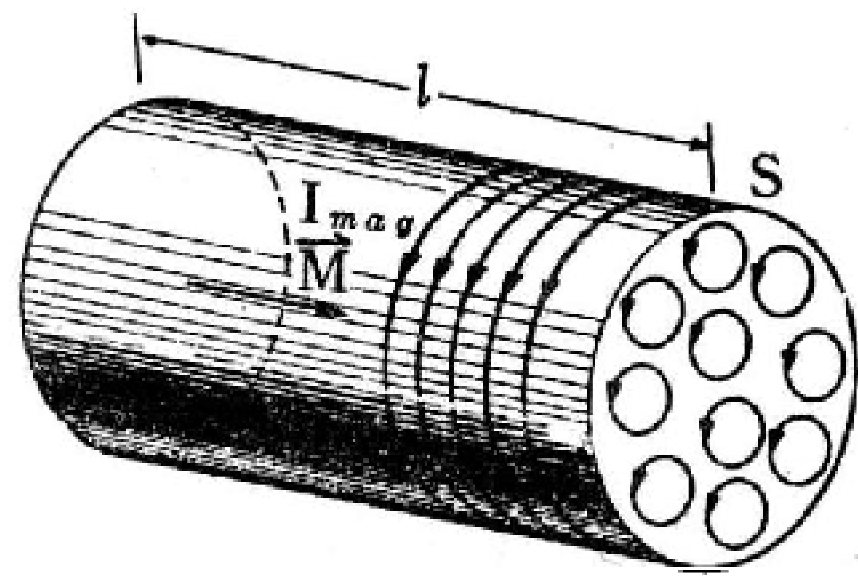


圖 15—95
在一磁化的圓柱體上之磁化表面電流

一物質的磁化向量M係定義為介質單位體積之磁矩(*magnetic moments*)。如果M代表由每一原子或分子所產生的磁偶極矩，n代表每單位體積之原子或分子數，則磁化強度為

$$\vec{M} = n\vec{m}$$

因為一基本電流的磁矩是以Am^2表示，所以磁化強度M是以

$$Am^2 / m^3 = Am^{-1} \quad 或 \quad m^{-1} s^{-1} C$$

表示，與單位長度的電流相當。

磁化物體上之表面電流與其磁化強度M之間有一非常重要的關係。由圖 15－95得知 I_{mag} 的流向係與M垂直。圓柱體本身如同一大的磁偶極，此磁偶極係由所有個別的磁偶極重疊而得。假如S為圓柱體的截面積，l為它的長度，則它的體積為 lS，因而其總磁偶極矩為

$$M(lS) = (Ml)S$$

但S只為表面電流所形成的電路的截面積，因磁偶極矩＝電流×面積，所以我們可得一結論為：圓柱體的表面具有一有效磁化電流 Ml ，因而在磁化圓柱體表面上每單位長度之有效電流 I_{mag} 為M，或 $I_{mag} = M$

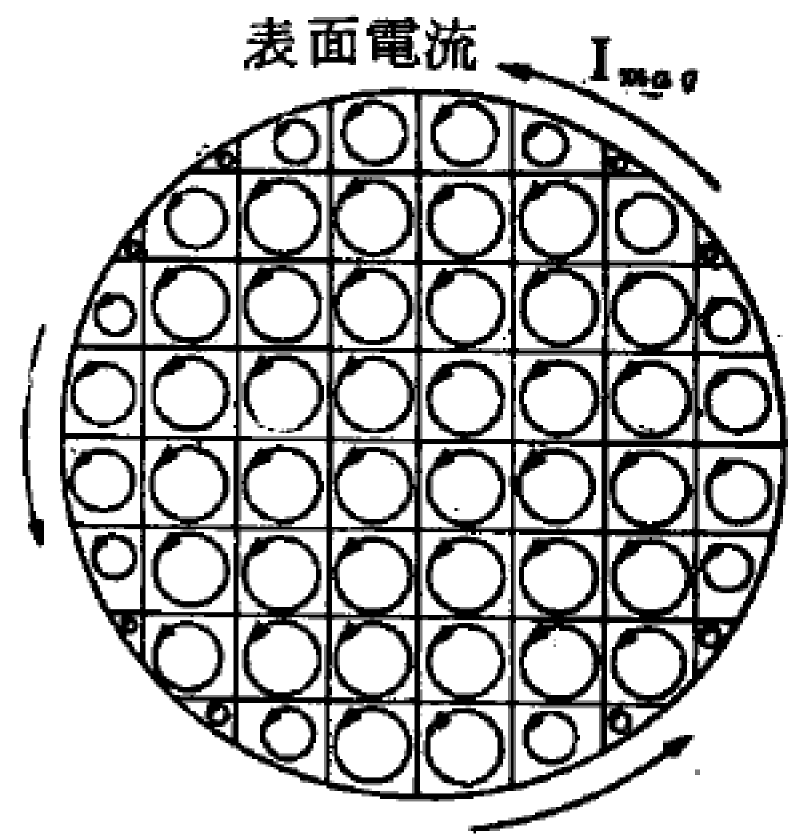


圖 15—96
在一磁化圓柱體內的基本電流

雖然這一結果是由一特殊的幾何形體所求得，但是對一般情形而言仍屬有效，故可以說在一磁化物質的表面上，每單位長度之有效磁化電流等於磁化向量M在相切於物體表面之平面上的分量，它的方向則與M垂直。

【磁化率】（Magnetic susceptibility）

磁化率爲物質內某一點的磁化強度$\vec{M}$與磁場強度$\vec{H}$（$\vec{H}=\vec{B}-4\pi\vec{M}$）之比，即

$$\chi_m = M/H$$

對均勻及各向同性物質，χ_m爲純量，但對各同異性物質而言，則爲張量。

鐵磁物質的磁化率與其磁化經歷有關。除鐵磁性物質外，χ_m 可看作均勻物質的特性常數。

均勻各向同性的順磁性物質的磁化率爲

$$\chi_m = \frac{Nm^2/2kT}{1-\dfrac{4\pi Nm^2}{3kT}}$$

式中N爲單位體積的原子（或分子）數，m爲原子的永久磁矩，T爲絕對溫度，k爲波茲曼常數。

均勻且各向同性的抗磁性物質的磁化率爲

$$\chi_m = -\frac{NZe^2\langle r^2\rangle}{6m_e c^2}$$

式中$\langle r^2\rangle$ 爲軌道電子與原子核心距離平方的平均值，Z爲原子序，，e爲電子的電荷，m_e爲電子質量，c爲光速。順磁性物質與反磁性物質兩者的χ_m之值均較 1 甚小。

磁化率可用以描述物質的磁特性。像電極化率χ_e一樣表示介質對一外施磁場的反應，並與介質的原子及分子的性質有關。

【磁化強度】（Magnetization）

磁化強度M乃磁化物質內，單位體積的磁矩，即

$$\vec{M} = \vec{\mu} / V$$

V 爲試樣的體積；$\vec{\mu}$ 爲其偶極矩。

在順磁性與反磁性物質中，磁化強度與外加磁場成正比。磁化強度與外加 H 場的比值，卽是磁化率。鐵磁性物質的磁化強度與外加磁場的關係較爲複雜，與鐵磁物質接受磁化的經歷有關。

1895 年居里（*Curie*）由實驗發現順磁性物質的磁化強度不但與試樣位置處的有效磁場成正比，並與溫度成反比

$$M = C\frac{B}{T}$$

C 爲常數，此方程式卽居里定律。降低溫度或增加磁場可增加 M，但 M 並不能無限度的增加，其極值爲

$$M_{max} = \mu N / V$$

這相當於體積爲 V 的樣品中，N 個原子完全排列的情形（N 爲總原子數）。

反磁性物質的磁化強度與溫度無關，而鐵磁性物質在溫度超過居里點時，會變爲順磁性，低於居里點時，鐵磁性物質的磁化強度與溫度無關。

【磁化場】（Magnetizing field）

考慮放置在一長而載有電流 I 的螺線管內的一圓柱形物質(如圖15－97)。此螺線管的電流建立一磁場，使圓柱體磁化，並在圓柱體上引起一與 I 同方向的磁化表面電流，每單位長度磁化表面電流爲

$$I_{mag} = M$$

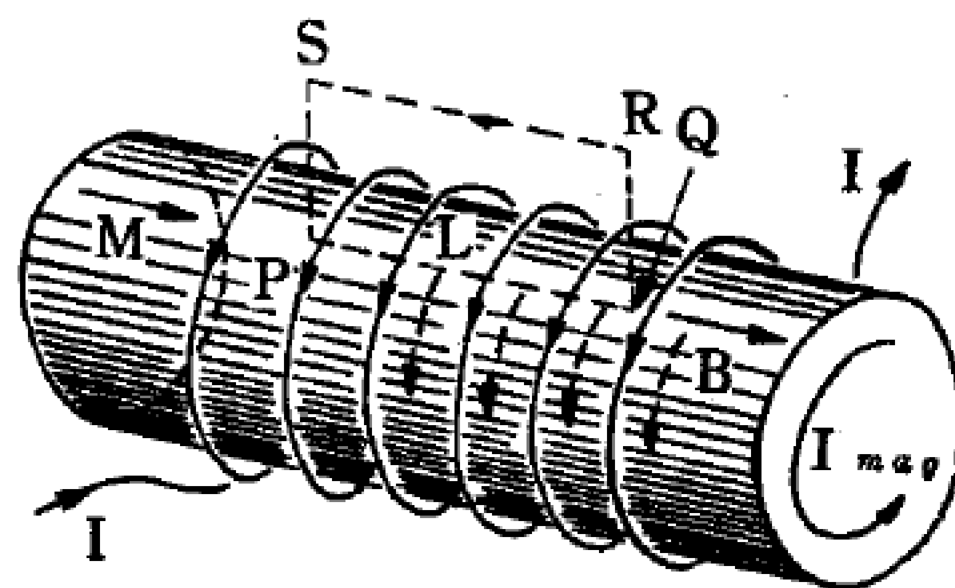


圖15－97

M 是磁化向量，爲介質每單位體積之磁矩。

如果螺線管每單位長度的圈數爲 n，則由螺線管與磁化圓柱體組合

而成的系統，相當於一個單獨的螺線管，而其上每單位長度的電流爲

$$nI + I_{mag} \text{ 或 } nI + M$$

這一有效的螺線管電流遂建立一合磁場 B，合磁場的方向平行於圓柱體的軸線；以每單位長度之總電流 $nI + M$ 替換螺線管內磁場公式 $B = \mu_0 nI$ 即得此合磁場的大小，其值爲

$$B = \mu_0 (nI + M) \quad \text{或} \quad \frac{1}{\mu_0}B - M = nI$$

由上式可求得在圓柱體表面上每單位長度的自由電流 nI，此電流係以介質中的磁場 B 及介質的磁化強度 M 來表示。當 $\vec{B}$ 與 $\vec{M}$ 二向量的方向相同時，上一結果暗示可引進一新的向量場，此向量場稱爲磁化場，定義爲

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0}\vec{B} - \vec{M}$$

它是以 Am^{-1} 或 $m^{-1}s^{-1}C$ 表示，此單位即爲上式右方二項中各項的單位。

在此特殊例子中，則有 $H = nI$，此式爲 H 與螺線管每單位長度的傳導電流或自由電流間之關係式。當我們沿圓柱體的表面考慮一長度 $PQ = L$ 時，則得

$$HL = LnI = I_{free} \qquad (1)$$

式中 $I_{free} = LnI$ 爲相當於長度爲 L 之螺線管的總自由電流。計算環繞矩形 $PQRS$ 之 H 的環積分時，因爲在螺線圈外方的 H 爲零（B 及 M 二者均爲零），同時邊 QR 及 SP 因與磁場垂直，此二邊均對環積分無貢獻，故得

$$\Lambda_H = \oint_{PQRS} \vec{H} \cdot d\vec{l} = HL$$

且因 QR 與 SP 二側對環和磁場垂直，故可寫成下列形式

$$\Lambda_H = I_{free}$$

式中 I_{free} 爲穿過矩形 $PQRS$ 的總自由電流。此結果適用於一般情況，事實上，可以證實沿一封閉曲線的磁化場的環積分與通過此路線的總自

由電流相等。

此即

$$\Lambda_H = \oint_L \vec{H} \cdot \vec{dl} = I_{free}$$

式中 I_{free} 為與路線 L 相環結的總電流，它係由在介質中或電路中自由流動之電荷所形成者，但不包含物質的磁化電流在內。

【磁化線】(Line of magnetization)

表示鐵芯被磁化程度的磁力線，即鐵芯的磁力線。

【磁分子說】(Molecular theory of magnetism)

物質所現之磁性，與其分子之排列有關。試取一細長之條形磁鐵，折為兩段，則在折斷處呈新磁極出現，能吸引鐵屑，且此兩段各成為一獨立的磁鐵，再折為四，亦是如此，如圖 15 — 98所示。盛鐵屑的試管，如用磁鐵的一極，自一端沿同一方向輕磨之，兩極即可各現不同的極，能吸鐵屑，宛如磁鐵；如圖 15 — 99所示。但一經搖動，磁性即消失。此等現象可用尤英 (*Sir I. A. Euwing*) 的磁分子說 (*theory of molecular magnet*) 解釋之。即鐵的分子，均可視為小磁鐵，在尋常狀態時，此等小磁鐵的軸線縱橫交錯，如圖 15 — 100及 101之(a)所示，其作

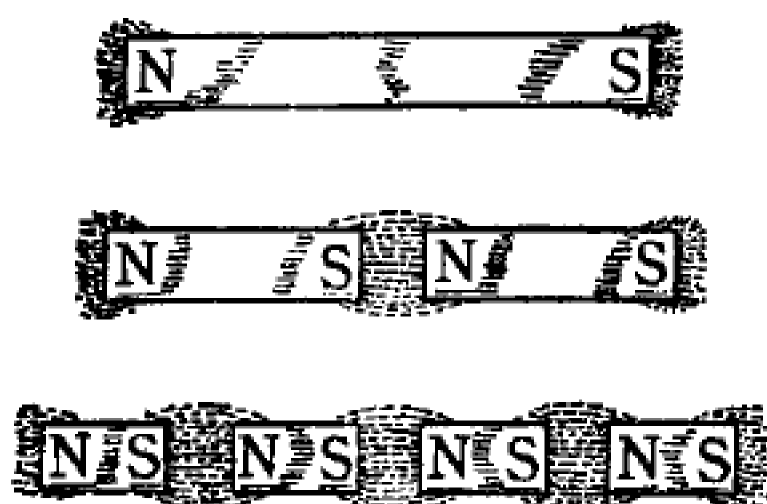


圖 15 — 98　折斷的磁鐵

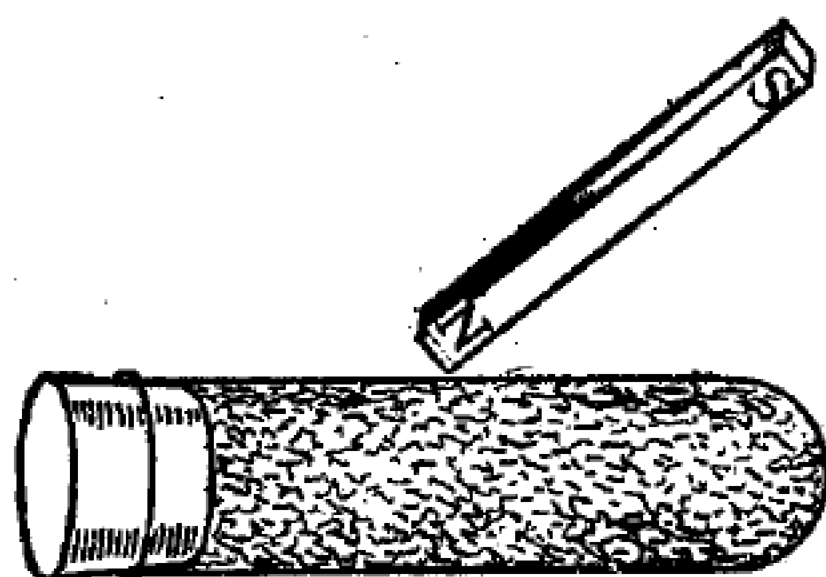


圖 15 — 99

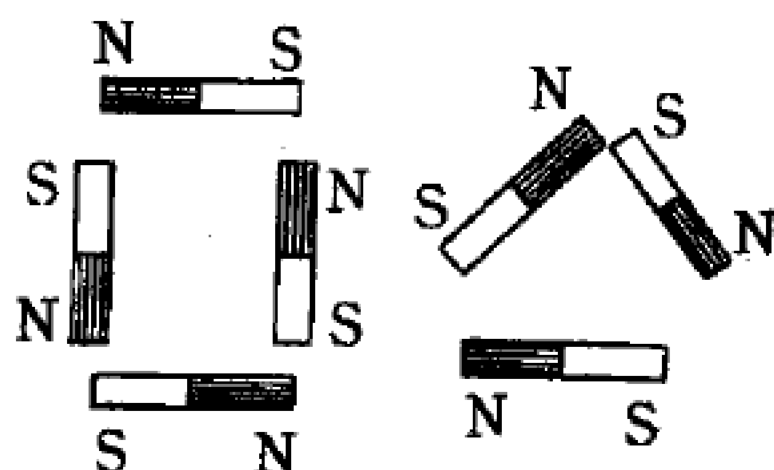
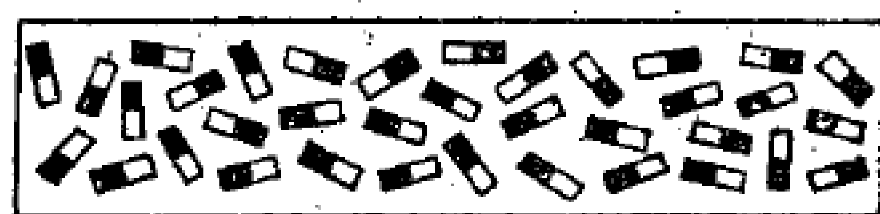
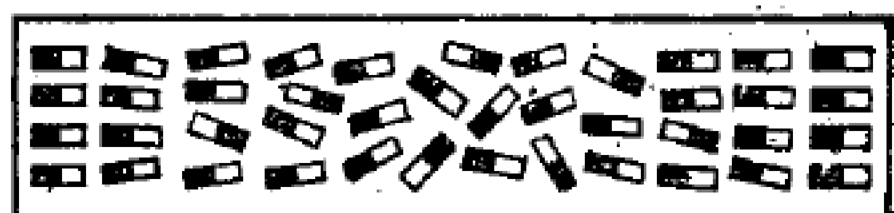


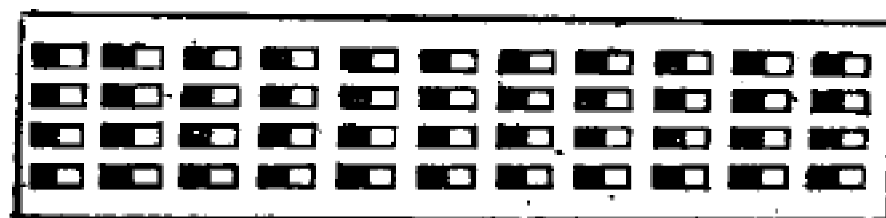
圖 15 — 100　分子磁鐵



(a)未受磁化的狀況



(b)受一部分磁化後的狀況



(c)完全受磁化的狀況

圖 15 — 101　磁分子說

用互相抵銷，故對外不呈磁性，但受磁化作用後，此等分子磁鐵，次第轉向一定的方向，如圖 15－101(b)所示，遂略有磁性呈現。如磁化作用增強，則其全部分子磁鐵，均能排列整齊，如圖 15－101 (c)所示，則此時之磁性最強。鐵受磁化後，其中央部分的各小磁鐵，恰好正負互相抵銷，因此在磁鐵中央就不顯出磁性，但在兩端的外層之分子磁鐵，則無此情形，遂顯出磁性來。

鋼內的分子磁鐵較爲密集，不如鐵分子的容易整列，故最初受磁化時，不易變爲磁鐵，但既經排成一定方向以後，非用強大的打擊，或加之以熱，決難使恢復原狀，換言之，卽鋼不易磁化，亦不易失去其已有之磁性。故常用之以製造各種人造磁鐵。

又當鋼鐵中之分子磁鐵的 N 極，完全轉至同一方向後，磁化已達飽和狀態（圖 15－101(c)）；縱再加大磁化力，亦不能使其極強再增加。以磁分子說來解釋，那是分子排列狀態已暫達整齊之限度，而各磁鐵之磁軸，完全在平行的一條線上。

近代較進步的學說則謂：鋼鐵內的分子磁鐵分佈成許多的小區域（*domain*），每一區域內的分子磁鐵均排列整齊；但因各區域的磁場方向彼此排列的不同，抵銷其作用，乃顯其不帶磁性，在受磁化時，或由某區域（磁化後所應具有磁場方向的區域）的擴張或由區域的轉動，因此而成爲磁鐵。這樣的解釋更能與事實相符，故近代均採用區域說。

【磁分路】（Magnetic shunt）

與磁力線的主要通路相平行的一段磁路。有一部分磁力線從主要通路中分出而通入於磁分路。因此磁分路便削弱了主要磁路中並聯有分路的那一段中的磁場。磁分路的形式爲一塊不大的鐵片（安裝在磁鐵的極靴上），通常是用來調整磁靴間空隙內的電場強度，例如用在電磁式儀表內以作靈敏度調整。

【磁之居里定律】（Curie's law of magnetic substance）

反磁性物質的磁化率幾乎與溫度無關，但是順磁性物質的磁化率則與物質的絕對溫度成反比，當溫度增高時，物質內原子較激烈的熱擾動所引起；它能抵銷外施電場的有序效應。此一結果於1895年由居里發現，順磁性物質的磁化強度不但與試樣位置處的有效磁場成正比，並與溫度成反比

$$M = C\frac{B}{T}$$

式中C爲常數，此方程式即爲磁之居里定律。

【磁石】(Magnet；Loadstone)

具有磁鐵性質的礦物，有時亦稱爲自然磁鐵。天然磁石的分子式是Fe_3O_4，但普通永久性的磁石都是用鋼加以磁性化製成的。自然界像這樣可以變磁性化的材料並不很多。磁石必具有兩極：一是指北極（N）；一是指南極（S），同極相斥，而異極相吸。

【磁石發電機】(Magneto generator)

帶永久磁鐵的高壓小發電機。通常是用手搖動（可以用來作絕緣試驗）。

【磁四極】(Magnetic quadrupole)

磁四極和電四極很相像，就如磁偶極和電偶極的相似一般。如圖15—102，兩個相同的環線，中間相隔$2a$的距離；在兩個環線內電流大小相等，方向相反，因此，這兩個環線在遠處看來，就成了兩個磁偶極。其磁極矩分別爲$\vec{\mu}_1$與$\vec{\mu}_2$。顯然地，$\vec{\mu}_1 = -\vec{\mu}_2$。由這兩個磁偶極連到$P$點的位置向量分別爲$\vec{r}_1$與$\vec{r}_2$，而且$\vec{r}_1 = \vec{r} - \vec{a}$，$\vec{r}_2 = \vec{r} + \vec{a}$。在$P$點由$\vec{\mu}_1$所產生的向量位是

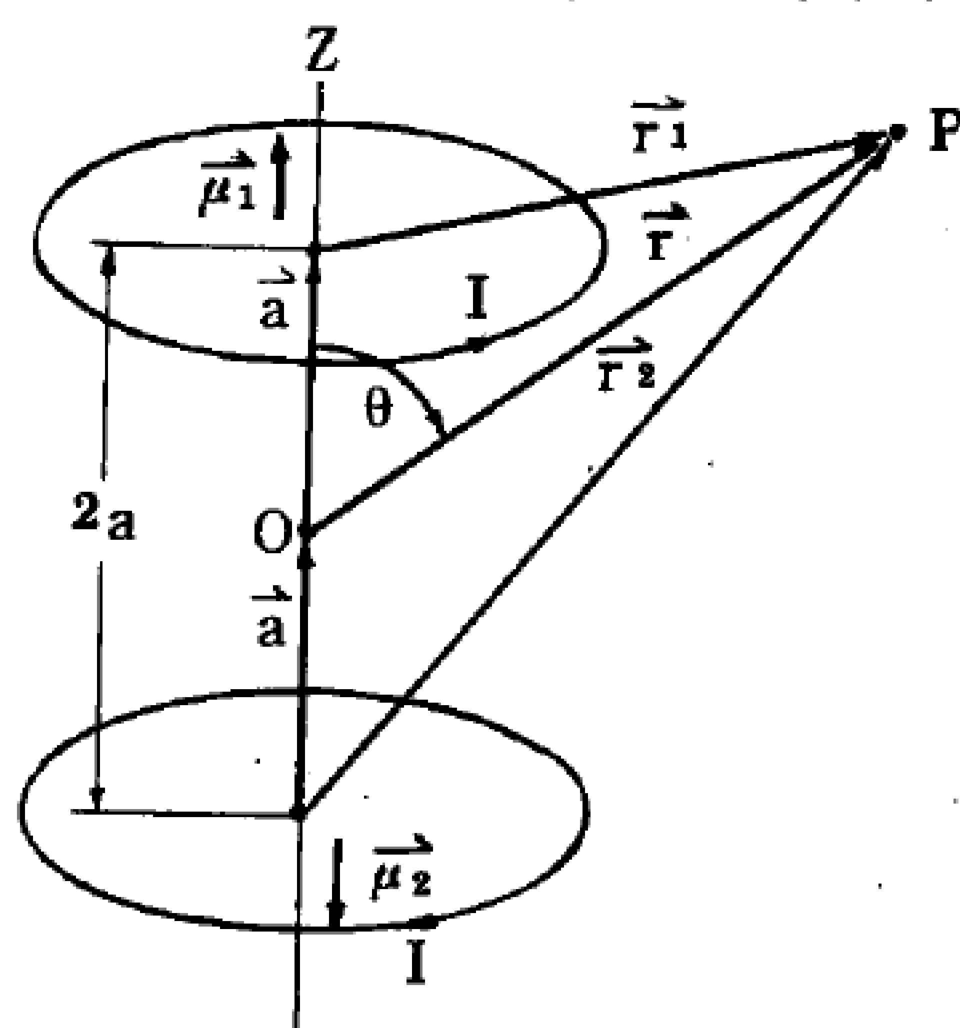


圖 15—102　磁四極

$$\vec{A}_1(\vec{r})=\frac{\vec{\mu}_1\times\vec{\hat{r}}_1}{r_1^2}=\frac{\vec{\mu}_1\times(\vec{r}-\vec{a})}{|\vec{r}-\vec{a}|^3}$$

由於$\vec{\mu}_1\times\vec{a}=0$，$|\vec{r}-\vec{a}|=(r^2+a^2-2\vec{r}\cdot\vec{a})^{\frac{1}{2}}$ 而$a\ll r$，$|\vec{r}-\vec{a}|^{-3}=r^{-3}(1+3\frac{\vec{r}\cdot\vec{a}}{r^2})$，因此

$$\vec{A}_1(\vec{r})\approx\frac{\vec{\mu}_1\times\vec{r}}{r^3}(1+3\frac{\vec{r}\cdot\vec{a}}{r^2})$$

同理，由$\vec{\mu}_2$在P點產生的向量位爲

$$\vec{A}_2(\vec{r})=\frac{\vec{\mu}_2\times\vec{r}}{r^3}(1-3\frac{\vec{r}\cdot\vec{a}}{r^2})$$

由於$\vec{\mu}_2=-\vec{\mu}_1$，這兩線環在P點所產生的總向量位爲

$$\vec{A}(\vec{r})=6\frac{(\vec{\mu}\times\vec{r})(\vec{r}\cdot\vec{a})}{r^5}$$

$\vec{A}$還是繞著Z軸旋轉。如果用球坐標表示，上式即變成

$$\vec{A}(\vec{r})=\frac{6\mu a}{r^3}\sin\theta\cos\theta\,\vec{\hat{\varphi}}$$

用球坐標旋度公式，求得磁場

$$\vec{B}(\vec{r})=\nabla\times\vec{A}(\vec{r})=\frac{6\mu a}{r^4}[\vec{\hat{r}}(3\cos^2\theta-1)+\vec{\hat{\theta}}2\sin\theta\cos\theta]$$

這是磁四極的一種形式，可以看出$\vec{B}$的大小對r的變化爲$\frac{1}{r^4}$，比磁偶極場更快趨近於零（在遠處）。它本身不是一個向量，而是一個二階對稱張量。

這樣推演下去，可以得到磁八極、磁十六極……等的磁場。其中值得注意的是，磁2^n極的磁場對r的變化是$\frac{1}{r^{(2+n)}}$；電"多"極也有類似的情形。這些遠較$\frac{1}{r^2}$型作用力爲弱的力，往往是構成分子間作用力的重要因素。

【磁共振】(Magnetic resonance)

固有磁矩爲μ的粒子，在磁感應爲B的磁場中，能分成若干獨立的能階，這些能階的能量值爲

$$E = mg\mu B$$

式中m爲粒子的磁量子數，g爲g因數，μ爲波爾磁元(*Bohr magneton*)或稱爲原子核磁元(*nuclear magneton*)。

如在垂直於磁場B的方向，加一振盪磁場$B_{\perp}$，能在上述的磁性能階間誘發磁性共振，產生誘發躍遷現象。共振頻率滿足波爾頻率條件，即

$$\omega_0 = \frac{\Delta E}{\hbar} = \frac{g\mu B}{\hbar}$$

磁共振現象，可用以測定原子核的g值；即可以觀察原子核的微弱磁性。

磁共振與廻旋加速器（即糊態）共振有一基礎上之區別：在磁共振中，此系統係由作用於系統磁矩一電磁場之磁分量所驅策；在廻旋加速器共振中則係電磁場之電分量驅策電荷。

今日磁共振已成爲化學及核物理上的重要工具，在化學上，磁共振供給我們許多知識。元素單獨存在與化合態存在時的磁共振頻率不同，因核磁矩受到鄰近原子核之影響，故由元素各種狀態下，共振頻率之差可以決定化合物中，那些原子距離較近，對分子構造之瞭解幫助甚大。

【磁位】(Magnetic potential)

磁位可分爲四種：

1. 磁場的磁位——是一純量的點函數，其定義爲單位北（或正）磁極由無限遠處（零磁位）移至該點所作的功。其單位爲爾格／單位磁極（ *C.G.S.* ）。依此定義，則由強度m的自由磁極所生磁場$\overrightarrow{H}$的位能是

$$V = m / \mu_0 r$$

r是至磁極的距離。且

$$-\nabla V = -\frac{dV}{dr} = \vec{H}$$

易與磁位混淆的是磁通勢（*magnetromotive force*，簡寫爲 *m.m.f.*)，其定義是單位磁荷繞封閉磁路一週所作的功，即

$$m.m.f. = \oint \vec{H} \cdot d\vec{l}$$

磁通勢與磁位的因次相同，因此磁通勢的吉伯（*gilbert*）單位也常適用於磁位。

2. 磁向量位（$\vec{A}$）——磁向量位的定義爲

$$\nabla \times \vec{A} = \vec{B}$$

和
$$\nabla \cdot \vec{A} = 0$$

此向量位可以推導磁定律；也可用以求 $\vec{B}$，尤其是時變電流的磁場向量。

3. 磁雙極位——距位於原點雙極矩 $\vec{m}$ 之磁雙極 $\vec{r}$ 處的磁雙極位定義爲
$$\frac{\vec{m} \cdot \vec{r}}{|r^3|} (C.G.S.) \text{ 及 } \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{m} \cdot \vec{r}}{|r^3|} (M.K.S.)$$

4. 載有電流 i 之電流廻路外某點的純量位是

$$V = -\left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right) i\, \Omega$$

式中 Ω 是該點對向廻路所張的立體角。

同前
$$\vec{B} = -\nabla V$$

【磁位移動】（**Magnetic displacement**）

係指地磁不斷地緩慢變化。

【磁冷卻】（**Magnetic cooling**）

乃應用絕熱去磁原理而達到極低溫度的方法。因熵的大小顯示物質的規則性，在一定溫度下加磁場於順磁性物質，可減低其熵值。如此時移去磁場，而保持其自旋系的熵值不變，則該系的規則狀態即與在較低

溫度中的狀態一樣。磁冷卻即據此性質而來，其方法是將加磁場於一溫度保持爲T_i 的磁性樣品，在磁化過程中，外界對樣品作功，然後將樣品熱絕緣。在絕熱情況下降低磁場，此時樣品對外作功而消耗本身內能、溫度遂從T_i 降至某較低溫度T_f 。這種方法可將溫度降至將近 10^{-6}°K。

【磁赤道】(Magnetic equator)

從地球之兩磁極中央，作一直線，環繞地球一周，則凡在此線上諸地點，傾角均等於零，此線謂之磁赤道，又稱地磁赤道。

【磁阻】(Magnetic reluctance)

代表阻止磁力線通過的力量，相當於磁動力（ *m.m.f.* ）除磁力線數，與電路上的電阻相似。

磁場影響電子的運動，因此也影響物質的電阻，而產生磁阻。所有金屬都有這種效應，但是以鐵磁性金屬及其合金最爲顯著。例如鎳(*Ni*)，最大的電阻變化在 2 %左右。磁電阻分橫磁阻和縱磁阻兩種。當電流平行於磁場時，電阻的改變稱爲縱磁阻。當電流垂直於磁場，電阻的改變稱爲橫磁阻。在一般情況下，磁阻多爲正值，即磁場常會使電阻增加。磁阻率是一、二階張量，它是磁致導電率張量的反張量。磁阻最大的是反磁性物。

【磁性】(Magnetism)

某種物質的分子性質。紀元前，人們在觀察如磁石（ *loadstone* ）之類的某種鐵礦物質時，發現它們有吸引小鐵片的性質。天然的鐵 (*Fe*)、鈷（ *Co* ）、錳（ *Mn* ）以及由這些金屬所製成的許多化合物，都能顯示出此種性質。因爲這一性質常集中在鐵礦物質中某些特定區域，並自那些特定區域顯示出來，而非所有的物體皆能顯示出此種性質，故它與重力無關。又因鐵礦物質既不能吸引軟木球，也不能吸引紙片，故它亦與電力無關。因此我們就給予此一物理性質一新的名稱，稱它爲磁性。此爲磁鐵所具的特性，能吸引鐵屑及其他磁性材料。當磁鐵運轉時，

恆指向南北。與此特性相反者，爲反磁性。

【磁性水力學】（Magnetohydrodynamics）

乃磁場與電導性流體間交互作用學問的研究。當免計所有微觀現象時，諸如附著和游離等，只考慮粒子群的平均性質如平均能量、壓力和密度等時，可視離子體爲高導電性的可壓縮流體。很多磁性水力學的實驗都使用離子體，例如磁性水力震波或磁性流體波的實驗。在磁性水力學的理論研究方面，多半利用馬克士威方程式（*Maxwell equation*）和普通的水力學方程式，再加上磁場與流體運動之間交互作用的考慮加以修正而成。

【磁性天線】（Magnetic antenna）

磁性天線是輕便環狀天線的變種。它由一根長100～200公厘而直徑則爲5～10公厘的鐵芯做成，鐵芯上繞有線圈。鐵芯是用鐵矽鋁合金或鐵淦氧磁物做成的。這種天線在中波波段工作時性能良好，在長波段波工作時性能差一些，在短波波段工作時，由於鐵芯損失，不宜採用磁性天線。磁性天線的線圈多半是間隔繞的。中波線圈採用0.12～0.15或7×0.07的單絲漆包線。圖15—103所示爲磁性天線的線圈及其數據。

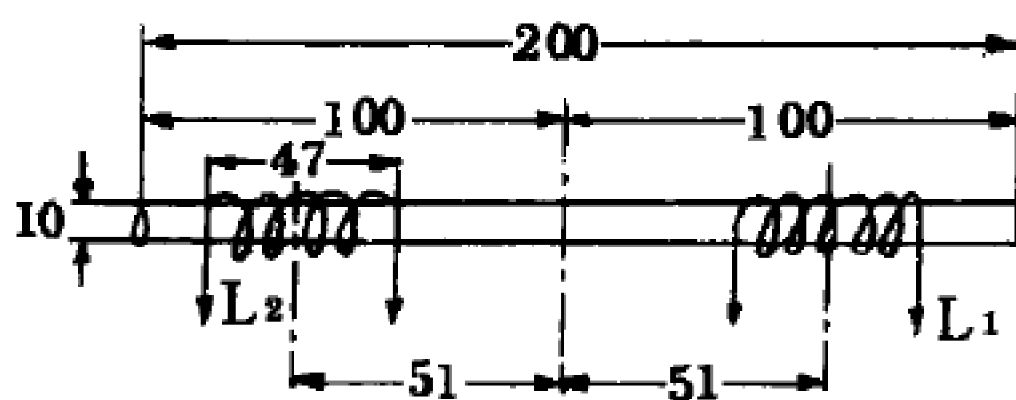


圖15—103

線圈L_1及L_2都是用0.12的單絲漆包線繞成。線圈L_1間隔地繞成，共有125圈，而線圈L_2則只有48圈。磁性天線在收音機輸入端的接線方法與普通的電感線圈相同。由於磁性天線和普通的環狀天線一樣具有方向性，因此裝磁性天線的收音機有時爲了獲得更好的收聽效果，要稍微轉動它的位置，或做一用來旋轉天線的裝置，使磁性天線對著所接收的電臺。磁性天線都裝置在具有狹窄切口的靜電屏蔽裏。

【磁性物質】（Magnetic material）

磁性物質一般可劃分爲抗磁性物質（*diamagnetic materials*）、順磁性物質（*paramagnetic materials*）、鐵磁物質（*ferromagnetic materials*）三種。

1. 抗磁性物質——這類物質在磁場內都感受到一微弱的排斥力，譬如水、石英等。實際上，抗磁性是所有原子及分子的通性，但是，若其他效應比抗磁性強，則物質亦可感受吸引力，而不表現抗磁性。譬如外加磁場就能夠使抗磁物質磁化，建立一與磁場方向相反的磁矩。抗磁性與電的感應極化有很多類似的地方，兩者都和溫度無關，不過感應電偶極矩是沿著電場方向，而磁偶極矩則與外加磁場方向相反。

2. 順磁性物質——這類物質在磁場內感受一指向磁場較強區域的吸引力，例如鈉、鋁及液態氧等。順磁物質都具有永久性的磁偶極矩。順磁物質的磁化現象，和具有永久性的電偶極矩物質的電極化現象相似，兩者都和溫度有密切的關係，就一般情形而論，在常溫狀態下，順磁物質所受的吸引磁力，與抗磁物質所受的排斥力，在數量級上約略相等，不過在低溫情況下，由於原子（或分子）熱振動程度的減小，使磁極化率增加，並感受頗強的磁力，尤其在絕對零度附近，這種效應非常顯著。

3. 鐵磁物質——此種物質的原子具備永久性磁偶極矩，而這些磁偶極矩彼此之間的交互作用很強，因此各原子的磁矩總是傾向於某種規律的排列，而影響本身眞正所感受的磁場。這種"合作性"的磁化純粹是量子力學的結果。在鐵磁物質（包括鐵、鈷、鎳元素）內，許多原子會自然地傾向於相同方向的排列，因此即使在很微弱的場內，也會造成很大的磁矩的磁場。

【磁性拾音器】（Magnetic pick - up）

在磁路中藉變更磁阻而完成拾音任務者。

【磁性流體不穩定】（Hydromagnetic instabilities）

研究電漿時，對成功的圍控最主要的阻力是電漿的不穩定性。不穩定性又可分為二類：(1)磁性流體不穩定，(2)微小不穩定（*microinstabilities*）磁性流體不穩定的例子像紐結和臘腸效應，都是屬於揑縮效應。各種方式的磁流不穩定與電漿性質無關，可以把電漿當著單一的傳導流，用巨視法加以處理。這種不穩定是由於電漿及其圍控場巨大的配置以及電漿的壓力或磁場所造成的結果。

電子及離子在相反的方向旋轉，因此它們也在相反的方向偏流，離子向下運動，電子向上運動。假設磁場均勻，則由質點所行走的軌道也必然是均勻的。但是，如果場裏有一些擾動發生，質點的軌道會改變。當質點平行於電場的方向時，它會獲得動量，但在它軌道回去的部分，也就是電場的反方向運動時，它會慢下來。假如電漿裏發生任何分離開正及負電荷的運動傾向時，電漿會產生一個新的電場以阻止這種運動。從這一點知道，電子與離子必須在同時垂直於電場和磁場的方向偏流開。它們互相合作，向著弱磁場的方向偏流。這些合作的運動可以在揑縮裝置中所產生的紐結和臘腸效應以及在磁鏡裝置中的槽溝（*flutes*）效應代表，如圖 15－104 所示。

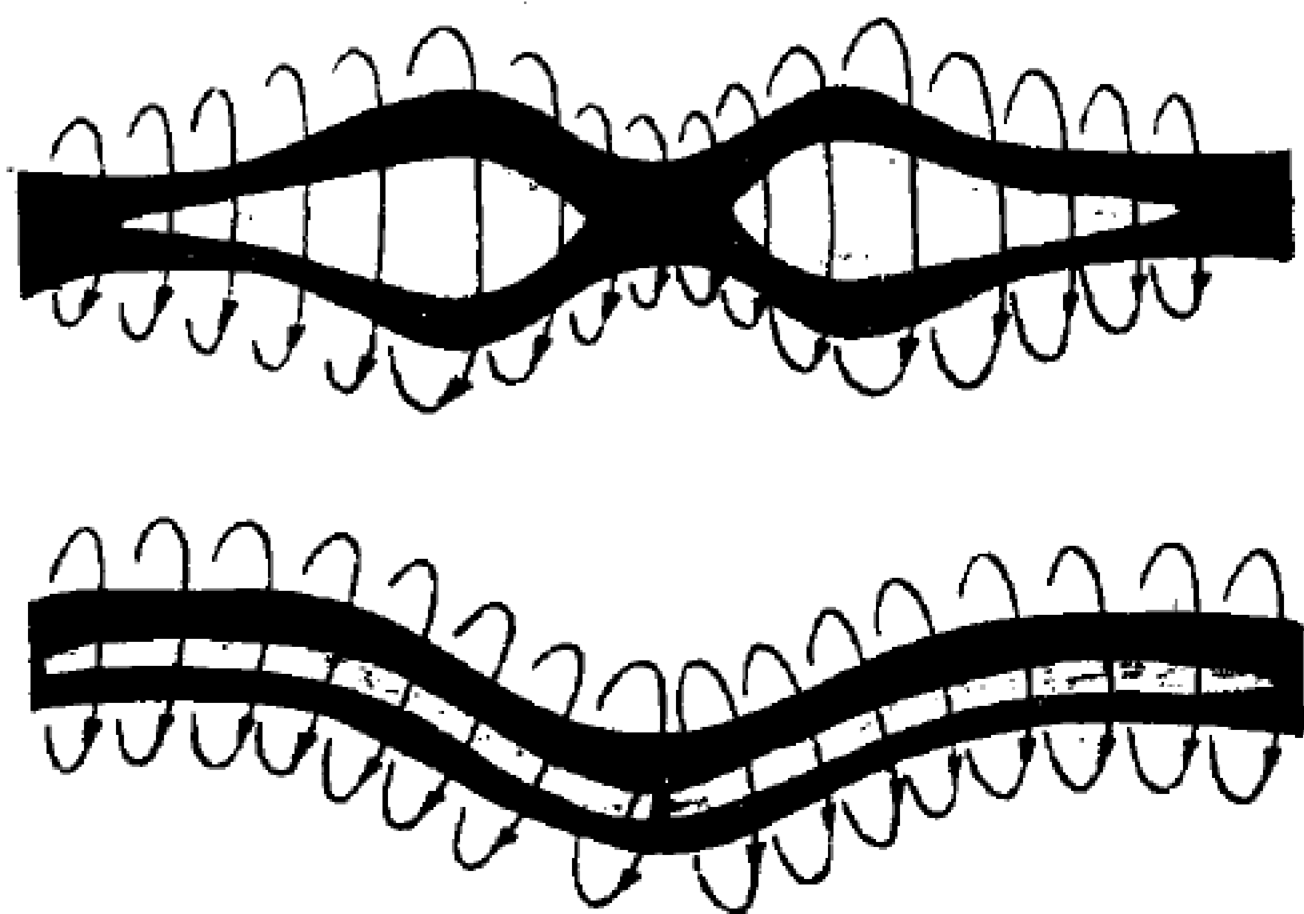


圖 15—104　紐結和臘腸不穩定性

【磁性流體效應】(Hydromagnetic effect)

在管線中一氣體極熱時且受一強磁場影響，乃被游離成離子，如在管線中適當地裝備有電極，則其正、負電荷質點可被各別吸收。熱氣體（約 2,000°C）由反應爐中出來，可能是冷卻劑，但吾人尚不知使氣體在裂變反應爐中如此高溫能否處理，且以此法所

做之研究尚不能超出爐內的試驗階段。

【磁性流體動力學】（Magnetohydrodynamics）

又稱磁氫動力學，爲物理學之一支，研究流動液體與電傳導間交互作用之關係。

磁性流體動力即磁場，爲游離氣體及電子各狀況間相互作用之推進力。游離氣體即其中一部分氣體之原子失去一個或多個電子而告電離，故一些氣體混合物當熱至3,000～5,000°F時就可游離。當氣體游離之後，它就變成了一如銅那樣爲電之導體。

磁性流體動力主要用途在作爲地球大氣外之動力。在太空間因阻力小，故所需之推力亦極小；磁性流體動力之用途很多，它能使人造衛星保持在低軌道上，其動力適可抵銷殘餘之大氣制動作用。磁性流體動力更可供衛星從一軌道移入另一軌道所需之動力。此外，當衛星需要增加速度時，亦可擔負此任務。尤其在太空船處於再入狀態時，此動力可以減輕強大之制動效應。

【磁性流體動力發電機】（Magnetohydrodynamic dynamo）

超導磁鐵未來可能利用於使熱游離氣體或電漿很快地通過磁場，就將熱能改變爲電能，而不需要鍋爐或渦輪發電機，這種發電裝置便叫磁性流體動力發電機，簡稱*M.H.D.*。

*M.H.D.*管子本身並不是一個完全的發電機，電漿離開管子後，還要經過壓縮、加熱，再回到管子，才完成一個循環，所以必須發展能耐高溫的材料，才能更進一步地改良*M.H.D.*。同時，此材料必須能在極高的溫度下，具有抗鹼金屬腐蝕之特性，這給我們帶來了材料方面的難題，當材料問題解決時，*M.H.D.*將能以極高的效率，供給可靠的電流。那時，*M.H.D.*將用於太空方面，替太空探險提供廉價的動力。

【磁性氣體】（Magnetic gas）

利用氣體製造低溫之限制，須視該氣體液化的溫度而定；此一溫度亦卽原子間之作用力克服原子亂度之熱能而使其集結之溫度。順磁性鹽類也具有類似的性質，例如鐵原子間之磁力雖甚微弱，但在極低溫時亦能使其原子排成直線。此時，物質呈現磁性化的秩序（磁性固態化了）。若溫度較高，則原子磁鐵排列散亂，其方向與鄰近原子無關，稱爲磁性氣體。

【磁性傳聲器】（Magnetic microphone）

藉磁路磁阻之變化而成就的傳聲器，稱之爲磁性傳聲器。

【磁性飽和】（Magnetic saturation）

在強力磁化場內的強磁性材料中所發生的現象，即是在進一步加強磁化場時，並不能使物體內的磁感應有顯著升高。磁飽和的產生是因爲物體內的磁極化達到了極限值，所有的單元電流都按外部場而排好了方向，所以繼續增強磁化場並不能使物體內的磁場加大。磁飽和現象在變壓器和扼流圈的鐵芯內，在揚聲器等的磁路內通常都是起著有害的作用，因爲在飽和時，線圈內的電流強度和鐵芯內的磁感應之間的比例關係便破壞了，這樣就會使變壓器線圈內的電流形狀失眞，使揚聲器的聲音失眞。

【磁性聚焦】（Magnetic focusing）

藉磁場之磁效應將電子射線集合，陰極射線管聚焦電極採用方法之一。

【磁性錄音】（Magnetic sound recording）

1898年丹麥科學家庖耳生（*Valdemar Poulson*）所發明的留聲電話機（*telegraphone*）利用鋼線記錄聲音。這是磁性錄音的開始，也開創了錄音技術的新紀元。經過不斷的硏究與改進，鋼線錄音機（*wire recorder*）所用的錄音材料由普通鋼線、純碳鋼線、不銹鋼線及其他合金鋼線而進步爲磁帶錄音機（*tape recorder*）。其所用的

錄音材料是表面鍍有一層磁性氧化鐵的塑料帶或紙帶，或是磁性材料與製帶材料混合製成的帶。因此所謂磁性錄音，實包括有鋼線錄音及磁帶錄音，其原理是相同的，磁帶的應用則因爲製作技術的進步而更普徧，更具有代表性。

其錄音原理爲(如圖 15－105)：磁帶經過牽帶機構由一個捲帶盤捲向另一捲帶盤(標準速度爲770、456、385和192.5毫米/秒)，中間經過錄音頭(記錄器)的極。隨著記錄器電磁鐵線圈中電流的變化，穿過磁帶並使之磁化的外部磁場也就發生相應的變化。於是磁帶在各個段上就獲得了不同的剩磁。這樣就產生了磁性的聲跡。在重發的時候，磁帶以與錄音時相同的速度經過重發音頭(拾音器)的極。

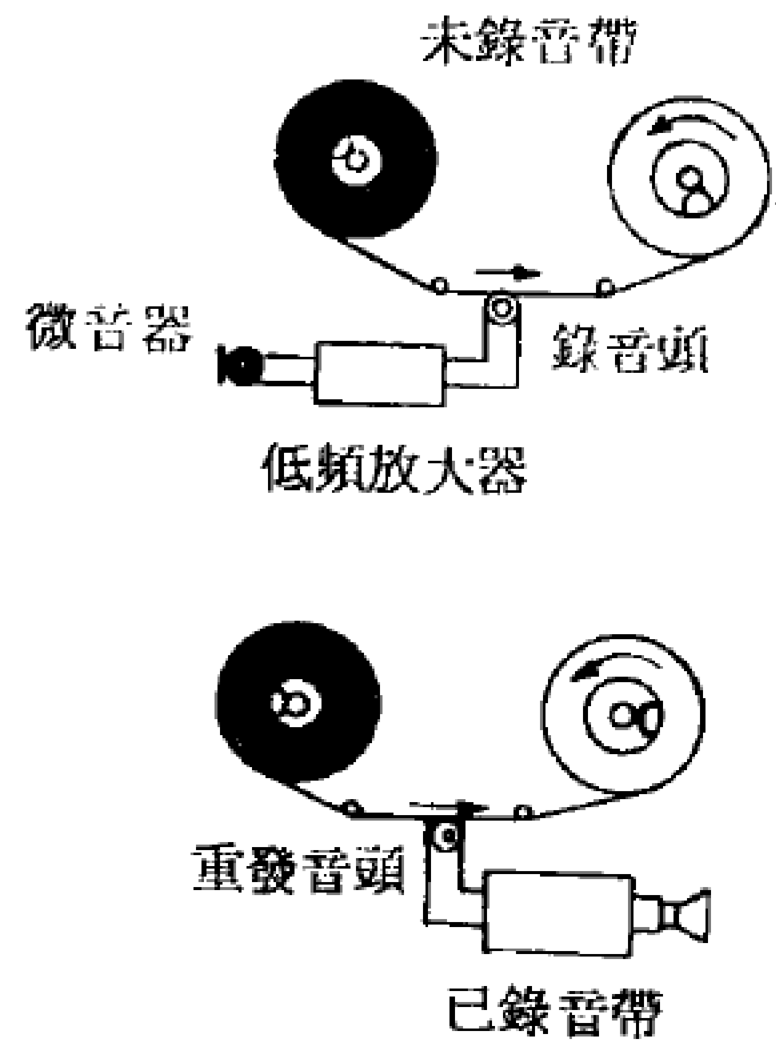


圖 15— 105

磁帶上的交變剩磁由於電磁感應現象而在重發音頭的線圈內產生交變電勢，放大以後，接到揚聲器上。重發可以進行任意多的次數。

磁錄音的突出特點就是可將磁帶重複地使用。在記錄器前面磁帶的通路上裝有一個抹音電磁鐵(抹音頭)，由足夠強的交流電流供電。抹音頭的強力磁場徹底地洗淨舊有的錄音，將磁帶準備好以便錄上新的聲跡。

【磁性錄音機】(Magnetic recorder)

在基本上，現代的磁性錄音機，無論是用鋼線或用磁帶，其構造系統可用圖 15 — 106的方塊圖說明。圖 15 — 106中所包括的元件，可以完成四種基本動作，即：(1)錄音(*sound record*)，(2)倒線或倒帶(*rewind*)。(3)放音(*playback or listen*)。(4)抹音(*erase*)。

而在整個錄音過程中，所用的材料是鋼線或磁帶，其中所包含的組件計有：(1)錄音放音頭(*record and playback head*)，或是分開的

錄音頭及放音頭。(2)抹音頭（*erase head*）。(3)聲頻放大器（*audio amplifier*），包括響度控制器（*volume control*、音品控制器（*tone control*）、頻率均衡器（*frequency equalizer*）及錄音響度階層指示器（*level indicator*）。(4)傳聲器（*microphone*）。(5)揚聲器（*speaker*）。(6)超聲頻振盪器（*super-audio frequency oscillator*）。(7)混頻器（*mixer*）。(8)電動機（*motor*）及傳動機構。(9)電能供給（*power supply*）設備。

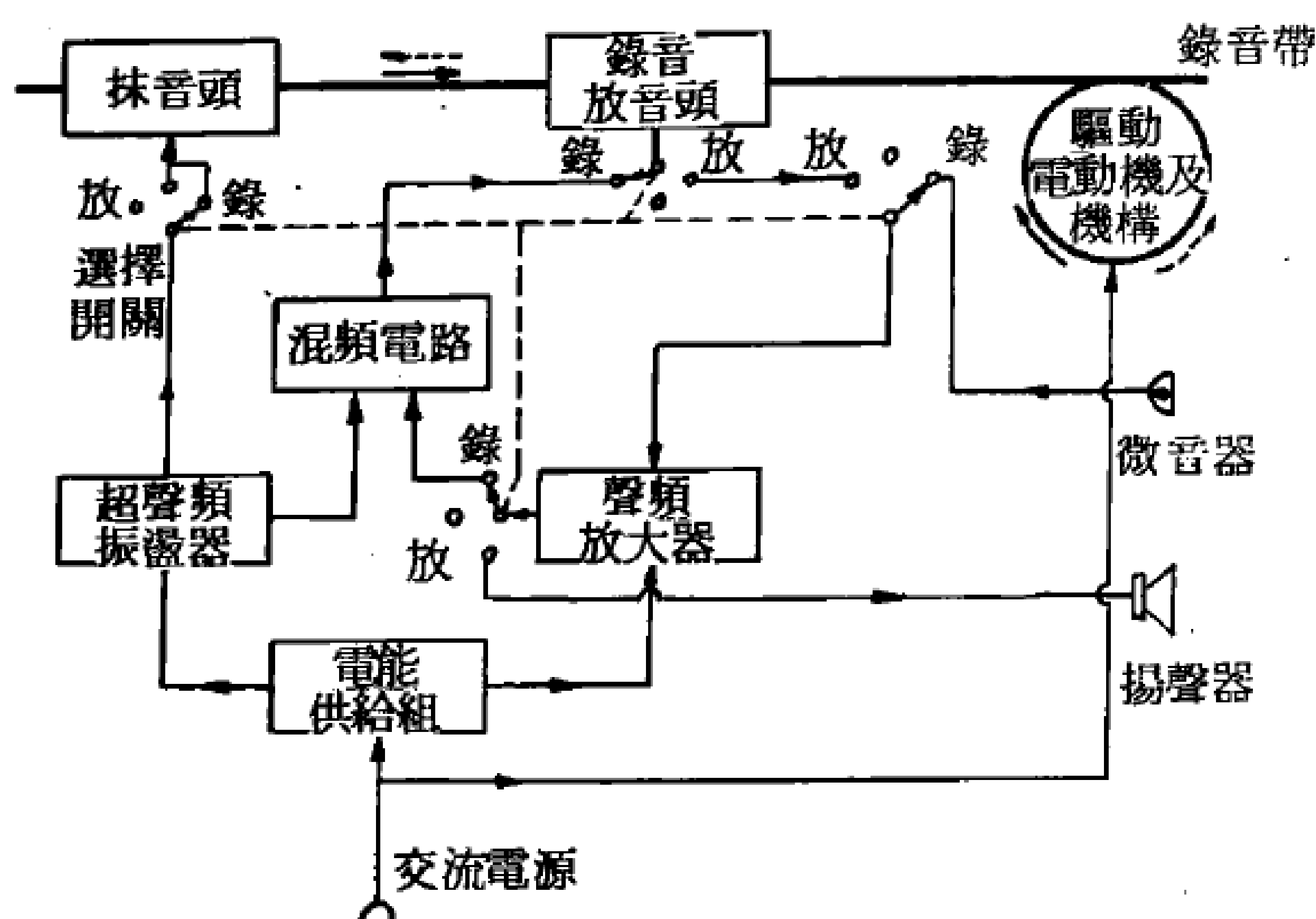


圖 15—106　磁性錄音的構造系統

錄音時，將選擇開關旋向“錄”，磁帶（或鋼線）受電動機及傳動機構之驅使，向右移動，經過錄音放音頭。此時由傳聲器輸出的聲頻電流，經由聲頻放大器放大，再入混頻電路，與超聲頻振盪器所產生之振盪電流混合而送入錄音頭，使錄音材料逐段磁化。

倒帶時，磁帶之運行仍受電動機及傳動機構的驅使，自右向左移動。

放音時，將選擇開關旋向“放”，磁帶仍受電動機及傳動機構的驅使自左向右移動，經過放音頭。此時放音頭線圈內，受已經磁化的磁帶的影響產生聲頻應電流，此電流經過聲頻放大器的放大，至揚聲器而再生為原來錄入的聲音。

至於抹音，就是當選擇開關旋至“錄”時，超聲頻振盪器一方面饋

給振盪電流至混頻電路，同時饋給振盪電流至抹音頭，使抹音頭上產生一矯頑磁力（ *coercive force* ），所以在一卷已經磁化的磁帶經過抹音頭時，磁帶上的剩磁（ *residual magnetism* ）已被消除，使其在到達錄音頭時，可以順利地再接受磁化而完成磁性錄音的目的。

鋼鐵等磁性物質，受到永久磁鐵或電磁鐵所施給的磁化力（ *magnetizing force* ）後，便能因感應而得到磁性。如果一鋼線或磁帶用某一方法逐段磁化，則此鋼線或磁帶的內部，會依序隨磁化力的大小，排成磁化情形各異的許多小磁極，稱爲庶極（ *consequent pole* ）或居間極（ *intermediate pole* ）如圖 15－107 所示。鋼線或磁帶一經磁化以後，即使將其磁化力儘量減低，亦必剩餘若干磁性，稱爲剩磁。如果需要將此剩磁完全消滅，則須施以相反的磁化力，稱爲矯頑磁力。

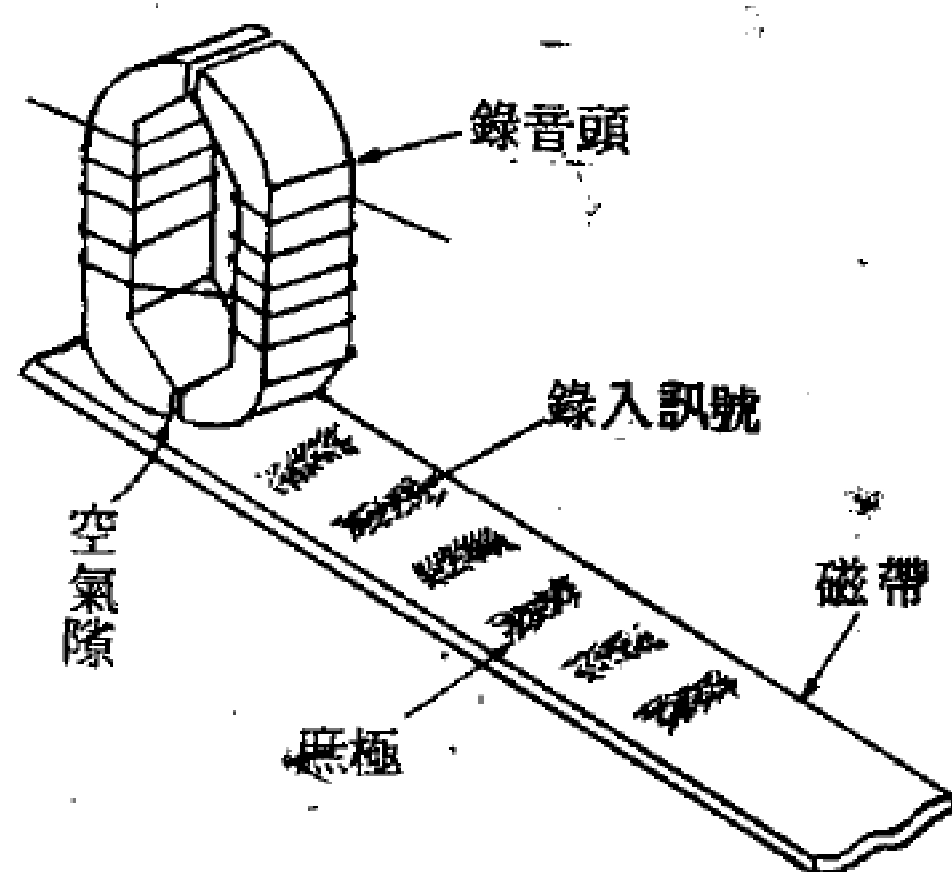


圖15－107　磁性錄音原理

錄音時，信號電流通過纏在鐵芯上的線圈，使錄音頭的空氣隙（*gap*）中產生一磁場。設信號電流爲 i ，則錄音頭空隙的磁場中的磁通量（*magnetic flux* ）ϕ 隨 i 而變動，也就是 ϕ 與 i 成正比例。

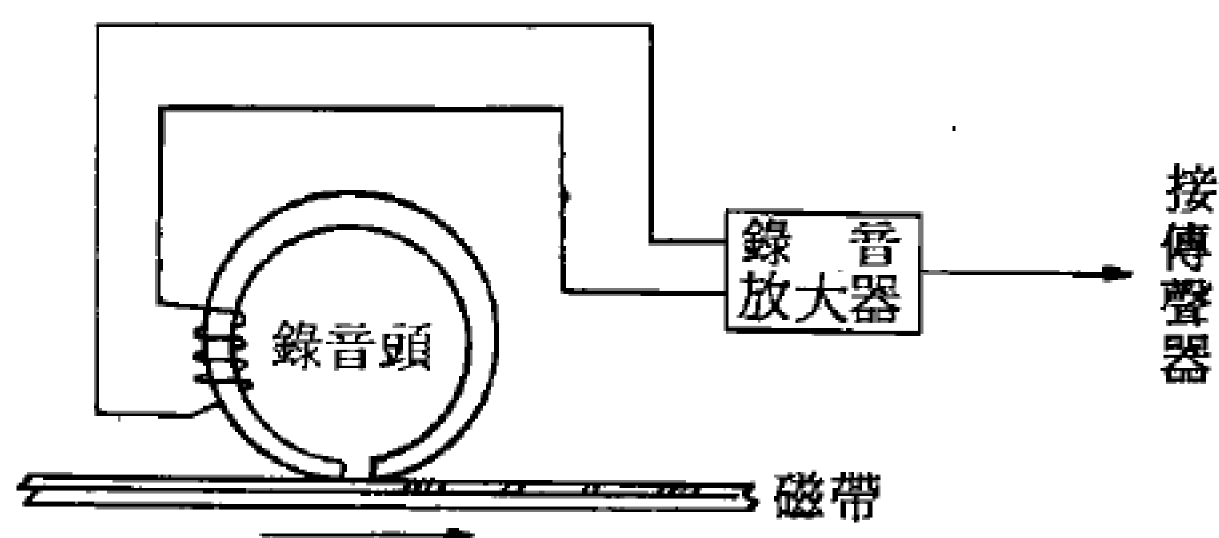


圖15－108　錄音作用

此時如錄音帶以一定的速度滑過錄音頭的表面，則磁帶上的磁性粒子在它通過而離開空氣隙的一瞬間，會受到錄音頭的磁化，如圖 15－108所示。所受磁化的程序及程度（或所剩的磁通密度）隨聲頻電流 i 的變化而不同。所以實際的錄音是倚重錄音頭空氣隙的後端。

假定錄音的信號是正弦波，則錄音帶上磁化的強弱變化，亦隨磁帶的移動而呈正弦波變化。設 v 為磁帶前進的速度，f 為信號的頻率，則磁帶上磁化變化一週的波長 $\lambda = \frac{v}{f}$

聲音的再生是由放音頭所完成的。即以與錄音頭構造相似的鐵芯纏線圈，在磁帶通過鐵芯空氣隙時，因磁帶上逐段磁通被連續割切，在線圈中產生聲頻應電流。其波形與錄音時的聲頻電流相同，經放大至揚聲器而再生，如圖15—109所示。

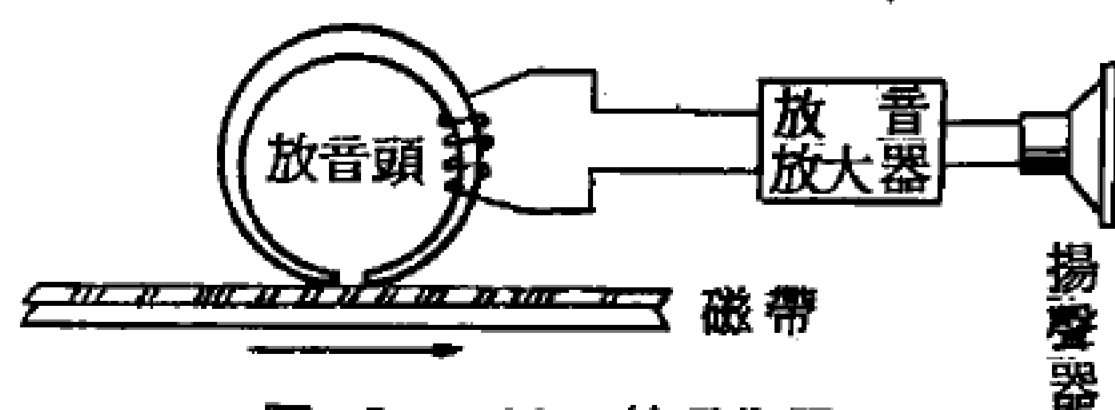


圖 15—109　放音作用

在此必須特別注意：再生時線圈中感應電流的大小，並不是和磁通量的大小成比例，而是隨磁通量的增減變化量而改變。即

$$e = N\frac{d\phi}{dt}$$

式中 e 為感應電壓，$\frac{d\phi}{dt}$ 為單位時間的磁通變化，N 為線圈的圈數。

磁性錄音最大的特點是抹音。當鋼線或磁帶經過錄音、放音，又將磁帶上的磁通消滅，使其能再使用，則必須施以適當的矯頑磁力。這種矯頑磁力可用永久磁鐵產生，或利用直流偏壓產生，但若用超聲頻振盪器（*supersonic oscillator*）完成此一作用，則更為理想。如圖 15—110所示。

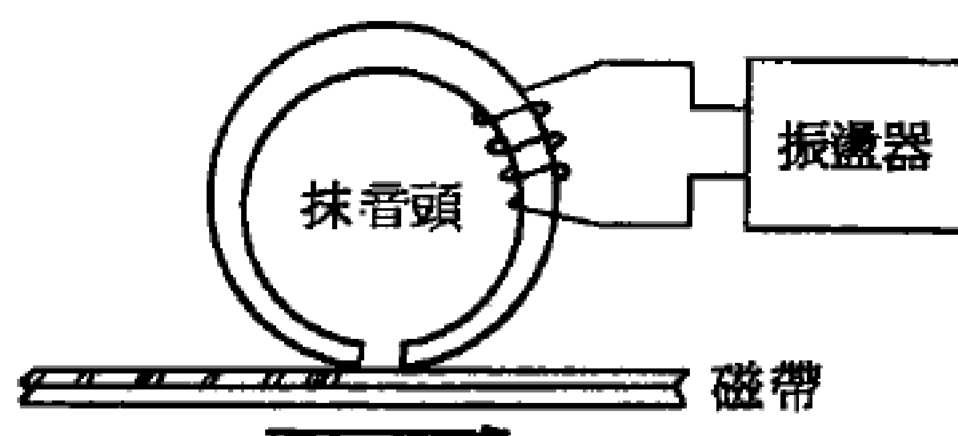


圖 15—110　抹音作用

【磁度】(Magnetic variation)

由眞子午線至磁力子午線向東或向西所量得的角度。又稱地磁度。即是眞北極與磁北極所夾的角。

【磁洩漏】(Magnetic leakage)

磁場從磁路中洩漏到周圍空間的部分。例如在帶鐵芯的變壓器中，

有時初級線圈中的電流所產生的磁力線有一部分從鐵芯跑出鐵芯之外，而在外面閉合起來。這一部分磁場不穿過次級線圈的圈匝，對次級線圈內電勢的建立不起作用。

【磁流層】(Magnetosphere)

范艾侖帶之存在，旣經人造衞星測定，其中有一區域，其內外帶間迄無明顯的界限可分。故核子科學家又以地球上空 500～40,000 哩中一個電荷特強的區域，稱爲磁流層。磁流層環繞地球並不對稱，而以向陽面爲強。據稱係由太陽風(*solar wind*)造成。太陽風係指太陽的放射性物質，據估計每秒鐘由太陽射出之物質達一百萬噸。射到地球的一部分爲地球磁場扭曲，其粒子又爲之拘束成彗星之尾巴狀散入太空背陽面達數百萬哩之遙，是即所謂磁流層。足以遮斷雷達的太空探測，影響火箭的遙控，並對太空航行者構成威脅。

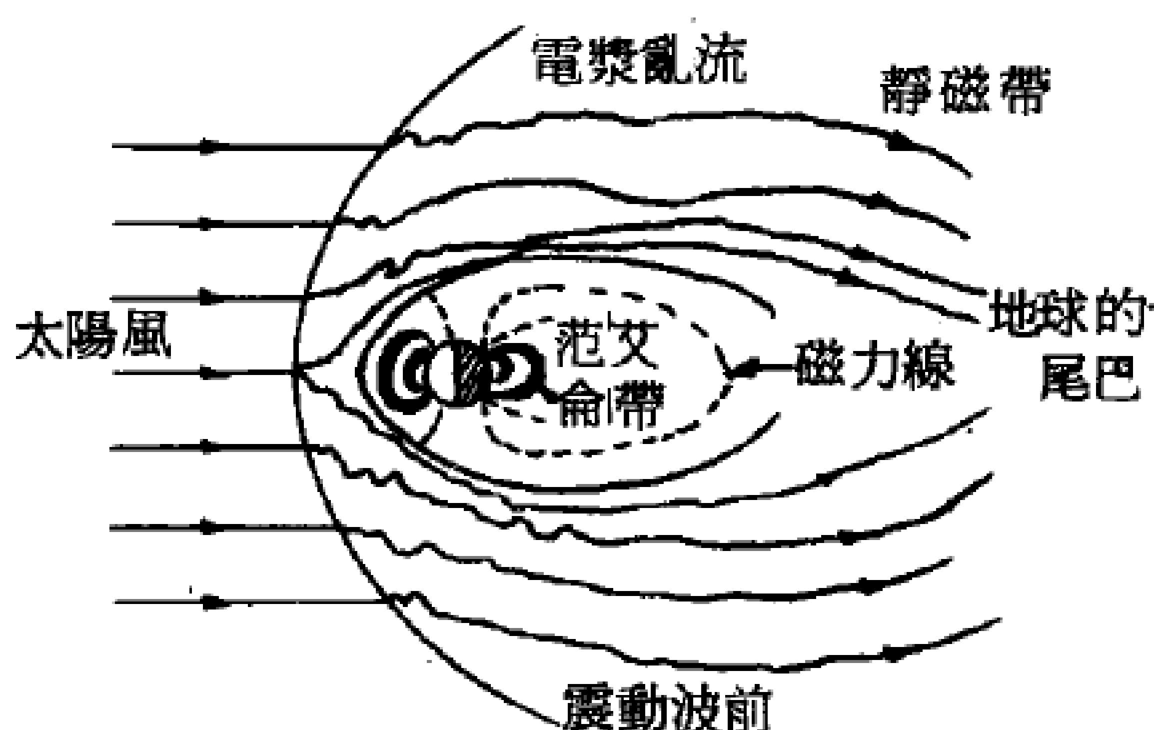


圖 15—111　磁流層

【磁針】(Magnetic needle)

以細條磁鐵兩端作成針狀尖端，中部略粗，用線懸起或用柱支持中央，使能繞垂直軸在水平面內自由旋轉，是爲磁針。靜止時，其針尖恆指向南北，指北方之一極稱爲指北極，簡稱北極（N 極）；指南方之一極稱爲指南極，簡稱南極（ S 極 ）。

【磁矩】(Magnetic moment)

磁矩有三種：

1. 磁雙極的磁矩——二相反磁極 m 與 $-m$ 相距 l 所構成之磁雙極的磁矩是　$\vec{\mu} = m\vec{l}$

均勻且強度爲 $\vec{B}$ 的磁場中，此磁雙極所受的力矩是

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$$

2. 長條形磁鐵的磁矩——對於長 l 的磁鐵，其磁矩定義爲

$$\vec{\mu} = m\vec{l}$$

式中 m 爲極強。此磁矩即磁鐵中所有基本磁雙極的總和。

3. 原子核和原子的磁矩——對於原子、原子核或粒子系統，此磁矩乃指其磁雙極的磁矩。

若一粒子或粒子系統在強度爲 $\vec{B}$ 的磁場中，則其作用能爲 $-\vec{\mu}_B B$，$\vec{\mu}_B$ 是磁矩 μ 在 $\vec{B}$ 方向的分量。

粒子的磁矩與其自旋及該粒子在系統中的軌道運動有關。無自旋的原子核沒有磁矩，有自旋的原子核的磁矩大小介於 -2 和 $+6$ 波爾磁元（*Bohr magneton*）之間。

原子核的磁矩定義爲

$$\vec{\mu} = g\,\mu_N \vec{J} / \hbar$$

式中 $\vec{J}$ 是原子核的角動量量子數，μ_N 是波爾磁元，$\hbar = \frac{h}{2\pi}$，h 是浦朗克常數（*Planck constant*），g 是 g 因數，或原子核廻轉磁比率。

【磁能】（Magnetic energy）

由電能可以改成磁的形式，故磁亦屬能量之一。其值爲

$$E_M = \frac{1}{2}\mu H^2 = \frac{1}{2}\vec{B}\cdot\vec{H}$$

其中 E_M 爲磁能，μ 是磁導率，$\vec{H}$ 是磁場強度，$\vec{B}$ 是磁通密度。

另外貯藏在自感系統內的能量，由於自感是由磁場而來，故此蓄藏的能量，稱爲磁能。其值

$$E_M = \frac{1}{2}LI^2$$

式中 L 爲自感，I 爲自感線圈內之電流。推廣到任意線圈的組合，則系統的總磁能爲 $U = \frac{1}{2}\sum_j L_j I_j^2 + \sum_{j>K} M_{jk} I_j I_K$

式中M_{JK}爲任意兩線圈之互感。

【磁致伸縮】(Magnetostriction)

磁化強度的變化是由於外加磁場的關係，使材料體形大小發生變化，稱爲磁致伸縮。若由於彈性張力的影響而使磁化強度改變，因而產生大小的改變，則稱爲ΔE效應。在磁化強度方向上的長度變化稱爲縱磁致伸縮，垂直於磁化強度方向上的則稱爲橫磁致伸縮。縱磁致伸縮與原來長度之比稱爲焦耳磁致伸縮。磁致伸縮數值甚小，通常不超過百萬分之幾。縱磁致伸縮和橫磁致伸縮通常在弱磁場時，符號相反；但當磁場升高超過某值時，縱橫磁致伸縮變成同號。

利用磁致伸縮的特性，在超聲波（*supersonic wave*）頻段內的共振（*resonance*）作用，可以控制電子管振盪器的頻率。又將超聲波頻率利用磁致伸縮作用，通過轉換器（*transducer*）轉變爲聲的震動作海中測量或通信，或爲超聲波探海儀如聲納（*sonar*）等所常用。

【磁致導電率】(Magnetoconductivity)

因磁場會影響在與其垂直方向上運動的電子，而影響樣品的導電率。此導電率的改變量，稱爲磁致導電率。磁致導電率是一個二階張量。在自由電子費米氣體模型中，電流密度J（J_x，J_y，J_z）和靜電場E（E_x，E_y，E_z）的關係爲

$$\begin{pmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{pmatrix} = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2} \begin{pmatrix} 1 & -\omega_c\tau & 0 \\ \omega_c\tau & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1+(\omega_c\tau)^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

$$= \sigma \begin{pmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{pmatrix}$$

式中σ_0是無磁場時的靜導電率，$\omega_c = \dfrac{eH}{mc}$，$H$是沿$Z$方向的靜磁場，$\tau$是弛緩時間。

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2}\begin{pmatrix} 1 & -\omega_c\tau & 0 \\ \omega_c\tau & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1+(\omega_c\tau)^2 \end{pmatrix}$$

σ 就是磁致導電率張量。

【磁效應】(Magnetic effect)

導線上電流通過時，附近的磁針就生偏向，這是因電流周圍能發生磁場的緣故，稱爲電流的磁效應。

【磁容熱核反應器】(Stellarator machine)

是實驗用以磁場包容離子體的熱核裝置，有自行封閉的磁場使粒子作無休止的螺線運動。

【磁域】(Magnetic domain)

因在鐵磁物質(或反鐵磁物質)中有很多小的區域，每區域中所有的磁矩都整齊地排列著，平行(或反平行)於某一特殊方向，所以這些小區域我們稱爲磁域。在沒有外加磁場時，這個方向常平行於某個重要晶軸。在一單晶體中，可能有許多磁域，每個磁域的特殊方向可能都不相同。但有外加磁場時，每一磁域的磁化強度都繞磁場方向轉動，順磁場方向的磁域增大，逆磁場方向的磁域變小，則順磁方向的磁化強度增大。

【磁域牆】(Domain wall)

在晶體中，磁化方向相反的兩區域之間自旋方向的改變，並不是突然發生在某一個單一原子面上，而是跨越許多原子面連續改變的(如圖 15 — 112)。這些原子面構成一轉換層，這轉換層常稱爲磁域牆。換言之，所謂磁域牆，即是在鐵磁性晶體中，隔開兩

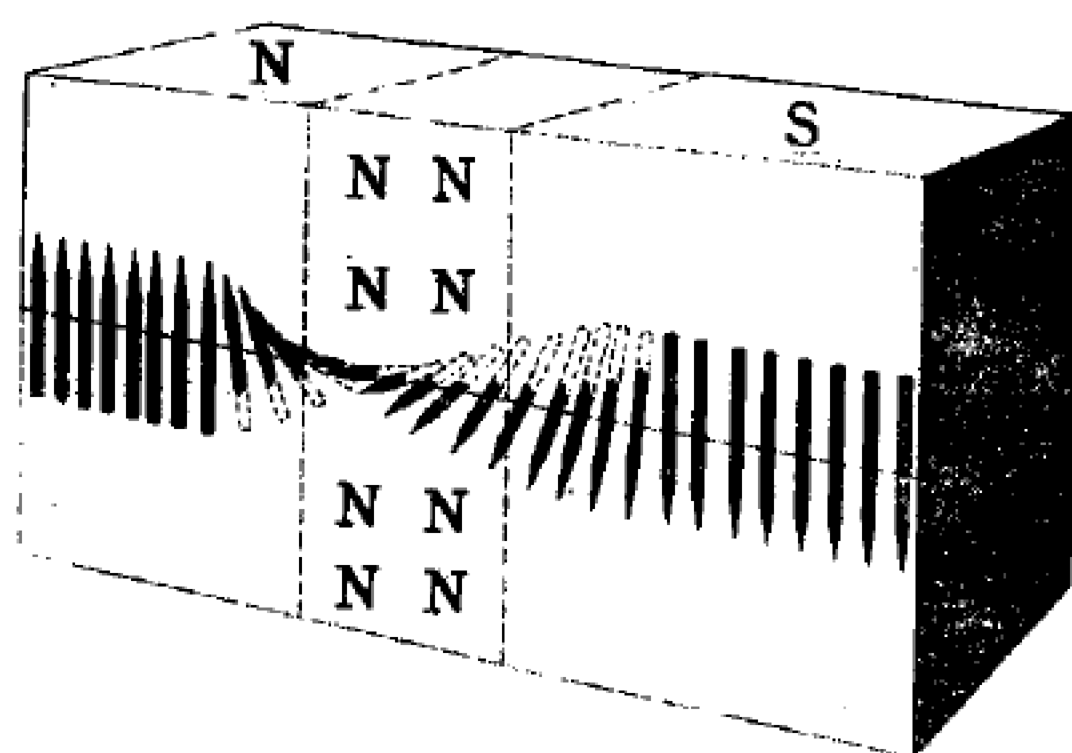


圖 5—112

個相鄰而磁化方向不同磁域的疆界。它的厚度與其各向異性能量（*anisotropy energy*）及交換能量（*exchange energy*）的大小有關。

【磁通密度】（Magnetic flux density）

磁通密度，乃表示磁力線在每平方厘米（cm^2）所通過磁場之磁力線數，亦即磁場強度，通常以B表之。

磁通密度單位爲1伏特秒／平方厘米。在C.G.S.制中，其單位爲1高斯。

$$1\text{高斯}=10^{-8}\text{伏特秒／平方厘米}$$

【磁通量】（Magnetic flux）

穿過某一廻路的磁場強度與該廻路面積的乘積。

即 $$\Phi_B=\int B\cdot dS$$

B爲磁場強度，S爲曲線圍繞的面積。

因爲磁場力線的密度（即穿過單位面積的力線數）等於磁場強度，所以磁通量便等於穿過該廻路的力線總數。磁通量的單位有三種，其關係爲

$$1\text{韋伯}=10^5\text{仟線}=10^8\text{馬克士威（線）}$$

磁通量的大小在電磁感應現象裏，有著十分重要的作用。當導線與磁場作等速運動時，因Φ_B無變化，就沒有感應電流。當導線與磁場發生相對運動時，則Φ_B改變，故產生感應電流。改變磁通量的方法有三：(1)改變磁場強度。(2)改變線圈所圍之面積。(3)改變磁場與廻線間的夾角。

【磁通勢】（Magnetomotive force）

磁通勢通用之符號爲F或 *m.m.f.*。在磁場中作用於任何封閉路程的磁通勢是沿路程磁力的線積分。任何封閉通路中，電流所產生的磁通勢直接隨廻路的電流大小成正比。任何路程磁通勢的C.G.S.單位爲吉伯（*gilbert*），並可以方程式

$$F=4\pi NI/10$$

描述之，式中N表廻路的圈數，I表電流大小，單位是安培。簡化的

M.K.S.A. 單位制中，磁通勢單位只是安培匝數。磁通勢與電動勢相彷，也可定義爲移動一單位磁極沿一封閉通路所作的功。

【磁偏角】(Magnetic declination)

設地磁之極與地理之極相合，則地球表面上每一地方的磁針，都應正指南北方向；換言之，即其長軸應與觀察地點的子午線相合。但實際上磁針並未正指地理的南北方向，即其長軸未與地理上的子午線相合，而有或多或少的偏向；即北極或偏向於西或偏向於東，隨觀察地點不同而異。這種偏向的角度，稱爲磁偏向或磁偏角(圖 15 — 113)。

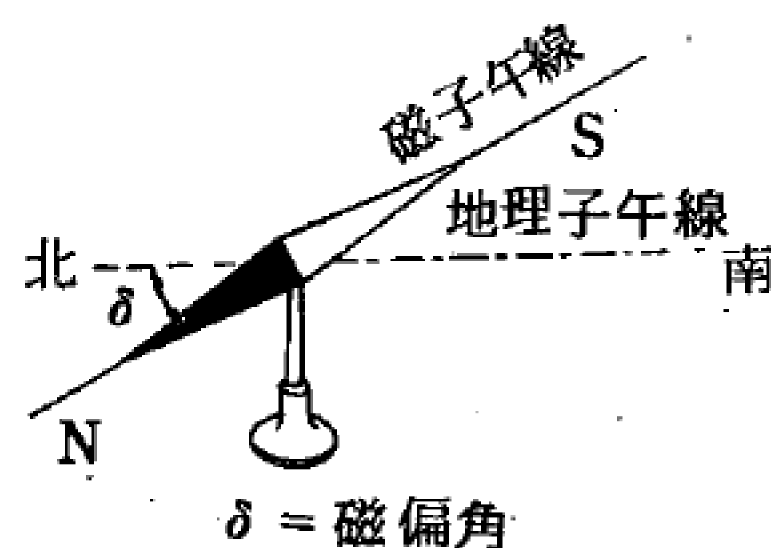


圖15— 113　磁偏角指針

羅盤就是一個磁偏角指針。它不但能指出各地磁偏角每日的微小變化，也能顯示在較長時間內所發生的較強的變化。德國近年的磁偏角平均約爲偏西 4°，而逐年向東遞減約 0.2°。 1649 年哥本哈根的磁偏角尚爲 $1\frac{1}{2}^{\circ}$ 偏東， 1800 年到達其最大偏西值 $18\frac{1}{2}^{\circ}$， 1890 年又減至約 11°偏西。所以磁偏角不只大小隨地而異，且偏東偏西，亦有所不同。

各地磁偏角資料，爲航海者所必不可少，因他可利用羅盤的磁針，據以指示方向。航海者又須使用一種特別的地圖，圖上磁偏角相等的地方均用線連結起來，即所謂等偏線(*isogonic*)。等偏線極不規則，其線路與地理子午線全不相合，由此亦可證明，地磁極與地理極並非相合。自非磁性的廻旋儀(*gyro*) 發明後，始得抗拒方位的變動而獲得正確的指向。

【磁帶】(Magnetic recording tape)

磁錄音中所利用的一種錄音材料。與電影軟片相似，不過上面塗敷的不是感光乳劑，而是強磁性粉末的薄層。這是一種運用最廣泛、最經濟且能儲備大量資料的記憶器。

用作強磁性粉末的有含鐵的化合物和合金，係以細微粉末的形狀塗敷在軟片上。這種磁帶上的錄音可以利用專門的洗音電磁鐵洗去，在原來的地方又可進行新的錄音。磁帶很容易地用剪刀剪斷及用普通漿糊或電影漿糊黏合起來，保存在卷軸內；每套卷軸卷存 1,000 米磁帶 。磁帶的標準寬度為6.5毫米。

【磁帶錄音機】(Magnetic recorder)

是利用塗上磁性氧化鐵的膠帶或紙帶記錄聲音的工具，作用和原理與鋼絲錄音機相同。磁帶錄音機的聲音傳眞率比鋼絲錄音機高，聽起來較清楚、眞切。這種機器的膠製和紙製磁帶，在錄音有錯誤時，可抹去重錄；磁帶斷時，接起來也很容易。

【磁強計】(Magnetometer)

磁強計為測量磁場強度的儀器，有各種不同的設計，玆列舉三種如下：

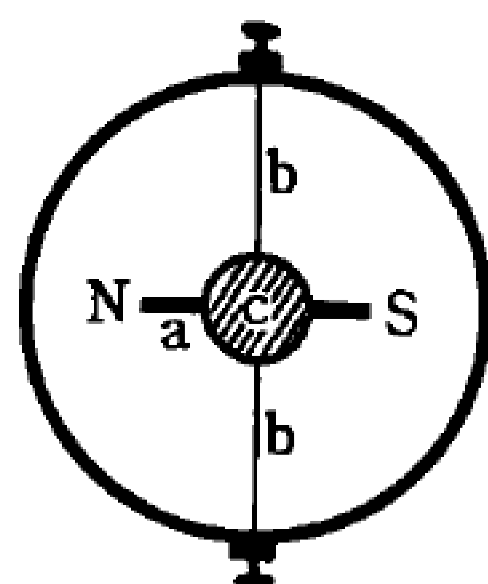


圖15－114　磁強計

1. 如圖 15－114 所示者，便是其中之一。此儀器係將一小磁棒 a 固著於一扭線 b 上而製成。小磁棒微小的轉動可由一固定於棒上的鏡子 c 清清楚楚的顯示出來，如二磁場對小磁棒所施的轉動作用相等，則其磁場強度也必相等；又在二磁場中，其磁場強度較大者，其作用亦較強。由於轉角與轉矩M（故亦與作用力）成正比，故光指標的偏轉 α 與磁場強度成正比。

2. 使用半導體物質亦可以造出十分靈敏的磁強計。取一具長方形的半導體，如圖 15－115 所示，在它的四邊接上四根接頭，再將其中任意兩根接到電源上，電流就會流過晶體。此時如果加以磁場 B，使其垂直於電流密度$\vec{J}$的方向（電流密度是通過半導體任意與電流流向垂直的單位截面所有的電流強度，它的單位是每平方公分若干安培），就會在垂直於$\vec{B}$及$\vec{J}$的方向產生一個電場$\vec{E}_H$，那就是說在另外的一對接頭間，會有一個電場產生。把這兩端接到伏特計上，就可以由計上電位差

的讀數，測出電場強度 E_H 來。這種現象稱作哈爾效應（*Hall effect*），它的來源是由於半導體內的電子受到磁場的作用而運動的緣故。當我們把晶體的兩端點接到電源上時，晶體內會因爲這個外加電源而產生一個電場 E_L，於是晶體內的自由電子就受 E_L的影響，而以平均速率 v 向一端運動，這時就有電流產生。假定它的電流密度是 $\vec{J}$，但是電荷在磁場中運動時，會受到一個使它向側方運動的力，於是迫力使電子向側方運動而向一旁堆積。電荷愈積愈多，於是它對電子間的推斥力就愈來愈強，終於達到平衡狀況。這時由磁場對運動電子所生的力，等於堆積一旁電荷對電子的推斥力，而電子就不再向側方運動。

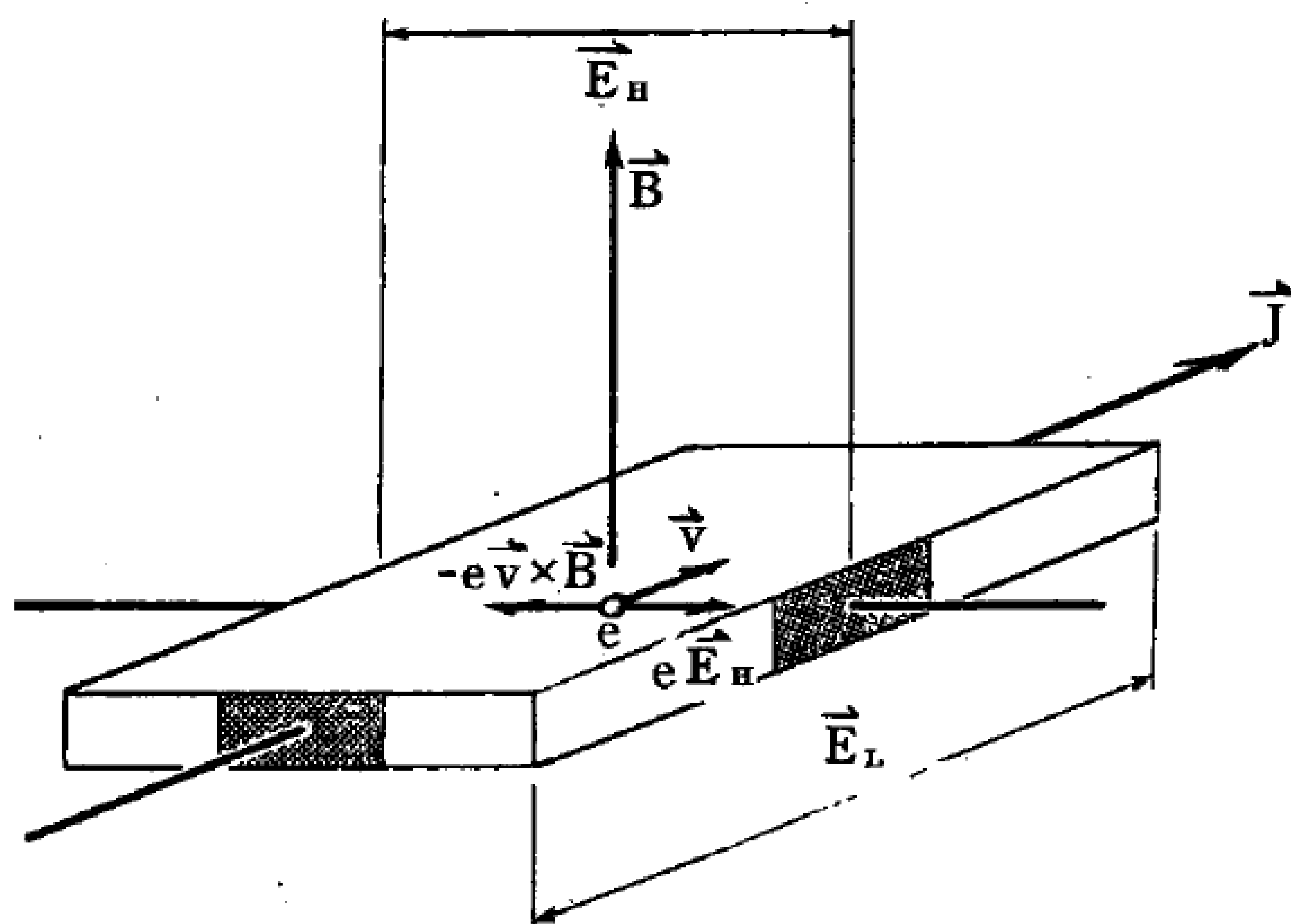


圖 15 — 115　　哈爾效應裝置中電子的受力狀況

如圖 15 — 115 所示，電子在磁場中運動時所受的力爲 evB，e 爲電子的電荷，而堆積在側旁的電子對每一電子的推斥力爲 eE_H，E_H 是這些堆積下來的電子所生成的電場強度。因爲這兩力大小相等，方向相反。故

$$eE_H = evB \qquad (1)$$

但是電子的平均速率 v 乃由 E_L 決定，它與 E_L及電子在半導體中通過的難易程度成正比，故

$$v = uE_L \qquad (2)$$

這裏，u 稱爲電子在半導體內的遷移率（*mobility*），將（1）的 v

代入（2）中，消去 e，則得

$$\frac{E_H}{E_L} = uB$$

若把磁強計先在已知磁場內測定以求出 u，則在任意磁場 B 中，只要測出 E_H 及 E_L，就可以測出 B 來。

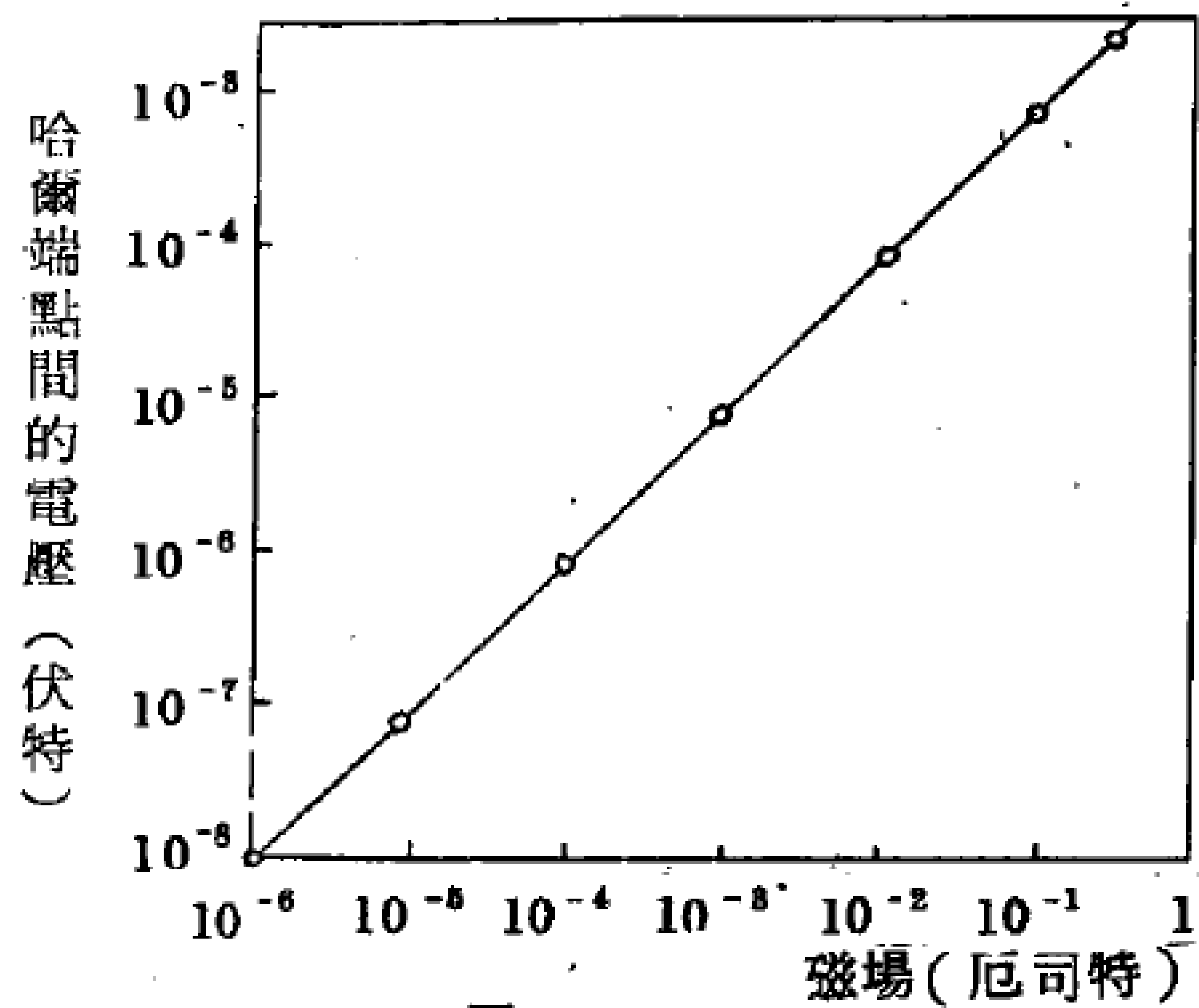


圖 15 — 116

InSb哈爾裝置在不同磁場強度時的輸出電壓狀況

圖 15 — 116 所示為磁強計的特性，圖中的直線表示哈爾端點（*Hall terminal*）（垂直於電流端點的另二端點）間的電壓，它與磁場強度成正比。地磁強度約 0.5 厄司特（*oersted*），強度相當弱，但 *InSb* 磁強計卻可測出強度約為地磁場百萬分之一的磁場，可見其靈敏度。因為哈耳磁強計體積小，構造簡單，靈敏度極高，故深為大衆所喜愛。此外，它尚能測出變動極快的磁場強度以及穩定磁場的強度。採用適當的 *InSb* 磁強計，我們能毫無困難地測出相當於微波範圍內的磁場強度。

3. 由於液體的磁共振，必須用非常精確的磁場，那麼把過程反過來，利用共振亦可推算精確的磁場。例如量地球磁場的困難在地球磁場太弱，大約只有半個高斯。在實驗室裏的共振現象需要幾仟高斯，所以測量地磁場碰到了極大的困難。但現在科學家已用一個很巧妙的裝置解決了這個問題。

先用一個相當弱的磁場把液體樣品中的質子全朝一個方向，使得整個樣品實際上就像一個磁性微弱的磁鐵。然後突然去掉磁場，這些原先排列與地磁場方向不同的小磁鐵，開始繞著地磁場進動。它們的排列很快的就破壞了，但是在苯（*benzene*）液體中他們的排列卻維持了20秒之久。這時間已經足夠測量地磁場的強度精確到千萬分之一。測量過

程只是調諧質子環繞地磁場進動的速率；因爲地磁場產生旋轉，由進動速率就可以測知地磁場強度。

這種儀器又稱爲質子進動磁強計（*proton precessional magnetometer*）。顯然這種高度敏感的裝置可以測知地磁場的各種變化。它已經被用在空中和地面去探測礦床，被裝在火箭上用來測量在不同高度的地磁場。

【磁密度】（Magnetic density）

磁場內發生的磁力線的緊密程度。磁密度就是測量到的磁力大小。

【磁控開關】（Magnetic switch）

有些無線電或電子工程設備，是利用電流通過線圈產生磁，使開關閉合者。我們稱此種裝置爲磁控開關。

【磁控閘流管】（Permatron）

此電子管的屏流由一磁場控制之，管的組織是特種二極管，屏爲圓筒狀，絲極在圓筒內圓軸處，管外圍爲通以電流的線圈，令此線圈之磁場與絲極相平行，磁場的作用是控制屏流，磁控管的用途有二：(1)擔任控制電流。(2)超短波振盪器。

【磁控管】（Magnetron）

用來產生超高頻振盪（分米與厘米波振盪）之具有特殊結構的電子管。磁控管的特點是應用著永久磁場在管內建立所需要的電子運動路線，磁控管即因此而得名。多腔磁控管是電子管和空腔諧振器的組合體。磁控管內有好幾個這樣的空腔諧振器，所以這種類型的磁控管就叫做多腔磁控管。

多腔磁控管的構造與工作原理爲：磁控管的陽極是一個厚壁的空心圓筒，在其內表面處開了若干個帶出口的空腔（這些空腔就是空腔諧振器）陰極則位於圓筒的中心線上。磁控管置於永久磁場中，場的方向與圓筒中心線相平行。從陰極出來的電子在飛越過程中，從磁場受到作用

力，運動路線發生彎曲。磁場應選擇到使得大多數電子都沿彎曲了的路線運動時能不和陽極相接觸。

假如在磁控管的小腔（諧振腔）內發生了電振盪（由於各種不同的原因，空腔內總是會有不大的振盪發生，例如接入陽極電壓便可導致這種結果），則交變電場不僅存在於小腔的裏面，而且也存在於外面靠近出口（縫隙）的地方。電子飛近陽極時，便落入這些場內，隨著場的方向不同，電子在場內或者會被加速，或者會被排斥。當電子被場加速時，便從諧振腔奪取能量，相反地，當它們被排斥時，便將自己的一部分能量交給諧振腔。倘若被加速及被排斥的電子數目相同，則平均說來，它們就不會把能量交給諧振腔。但是被排斥的電子在受到排斥以後的速度便小於向陽極運動時所獲得的速度。因此它們便不再具有足以返回陰極的能量。與此相反，另一些被諧振腔電場所加速的電子，在被加速後所具有的能量卻大於返回陰極所需要的能量。由此可知，落入第一諧振腔電場內而在其中被加速的電子將回到陰極，在其中被排斥的電子，便回不到陰極，而沿曲線路程在陽極附近運動，並將落入下一諧振腔的電場。在某一適當的運動速度時（該速度與諧振腔內的振盪頻率有一定關係），這些電子落入第二諧振腔電場時的諧振腔振盪相位與該電子落入第一諧振腔電場時的相位相同。因此在第二諧振腔的電場內，它們將同樣地要受到排斥。這樣一來，選擇適當的電子速度，即選擇陽極電壓（同時也選擇磁場，這個磁場不改變電子速度的大小，但要改變其方向），可以獲得這樣的情況，即單個的電子或者將被一個諧振腔的場所加速，或者被數個諧振腔的場所排斥

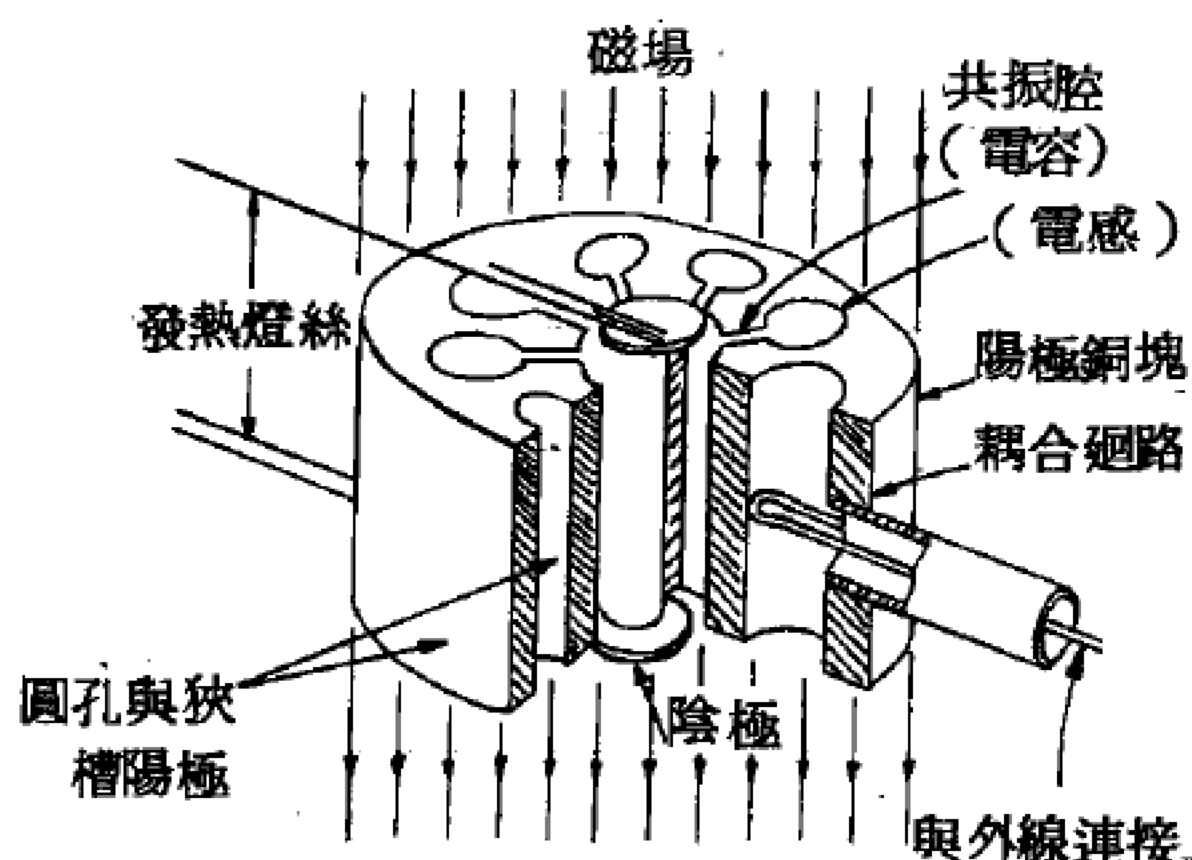


圖 15 — 117
多腔磁控管的電極構造截面圖

。所以，平均說來，電子交給諧振腔的能量便大於從其中取走的能量，也就是說，諧振腔內所發生的振盪將要增長，而到最後，諧振腔內就會建立等幅振盪。上面簡單討論的諧振腔內的振盪維持過程還伴隨著一個很重要的現象。因爲欲使電子在諧振腔的場內受到排斥，則它們應在諧振腔的一定振盪相位時飛入場中，這就很顯然，電子在運動時，不是一個均勻的電子束（因爲如果均勻，則任何時間都飛入場內，便不是在一定時刻），而是一個個單獨凝塊的形式。爲此，整個電子流的形狀應當是像一個星星一樣，其中電子都處在星星的一個個輻射線中，而整個星星則圍繞著磁控管的中心線而旋轉，其旋轉速度應使得輻射線能在所需要的時刻轉到每個空腔的前面。電子流內各個凝塊的形成過程叫做調相聚焦，它是在諧振腔的交變場作用下自動形成的。現代的磁控管能夠產生直到厘米波段內最高頻率的振盪（波長到達1厘米，甚至更短些），它能夠送出的功率，在連續輻射時達到數百瓦特，在脈衝輻射時，達到數百仟瓦。

【磁控管整流器】（Magnetron rectifier）

由管外磁場控制電流的整流管。

【磁偶極】（Magnetic dipole）

電場是電荷產生的，而磁場則爲電荷運動的產物，並不是靠著磁荷而生成的，因此正如安培（*Ampere*）所假設的，磁性物質的磁場，是由分佈在物質內部的永久性環電流所建立的。因爲就物質的基本構造而言，電子環繞著原子的軌道轉動，形成永久性的環電流。就安培的解釋，這種電流 I 與環線的面積 a 的乘積，就相當於磁偶極矩（*magnetic dipole moment*）

$$\overrightarrow{\mu} = I\overrightarrow{a} / c$$

在直角坐標系內，如果觀察者落在 XZ 面上，且遠離環線，而環線在 XY 面上，則磁矩所建立的磁場，其分量可被寫爲

$$B_x = \frac{3\mu \sin\theta \cos\theta}{r^3}$$

$$B_y = 0$$

$$B_z = \frac{\mu\,(3\cos^2\theta - 1)}{r^3}$$

如果選用極坐標，則各分量可被改寫為

$$B_r = \frac{2\mu \cos\theta}{r^3}$$

$$B_\theta = \frac{\mu \sin\theta}{r^3}$$

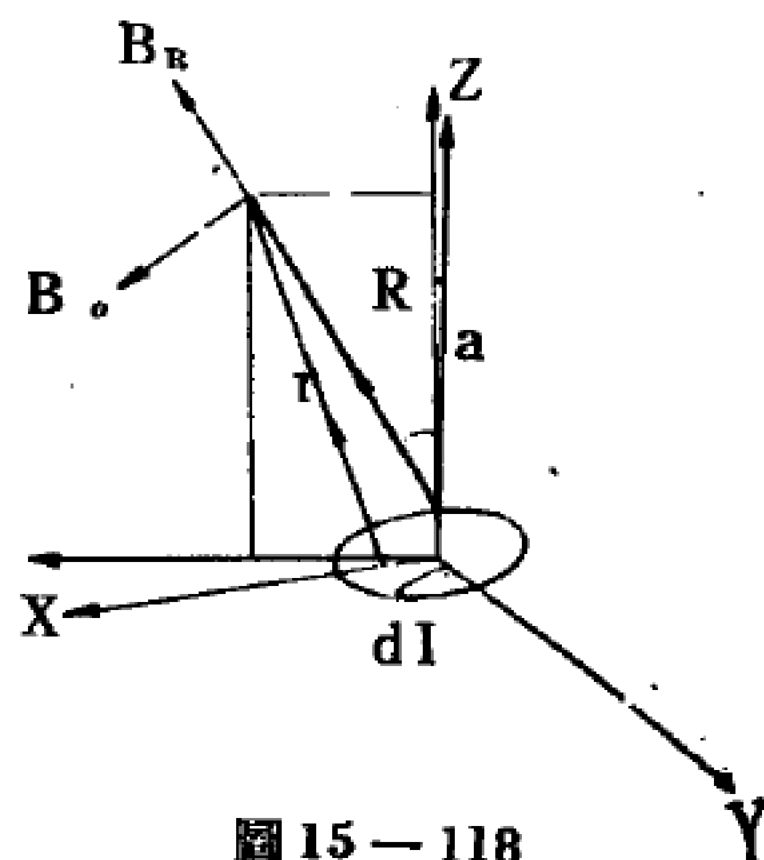
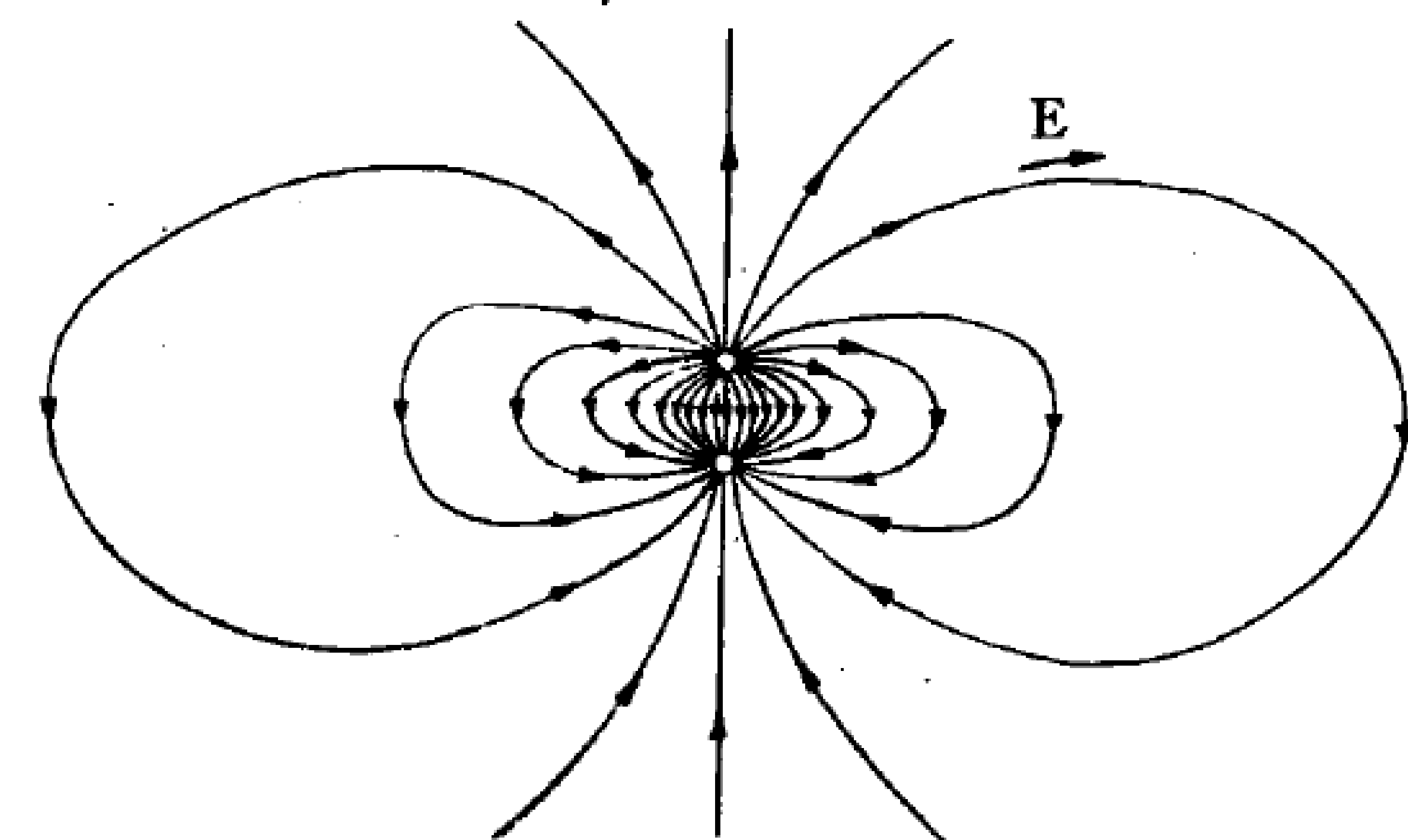
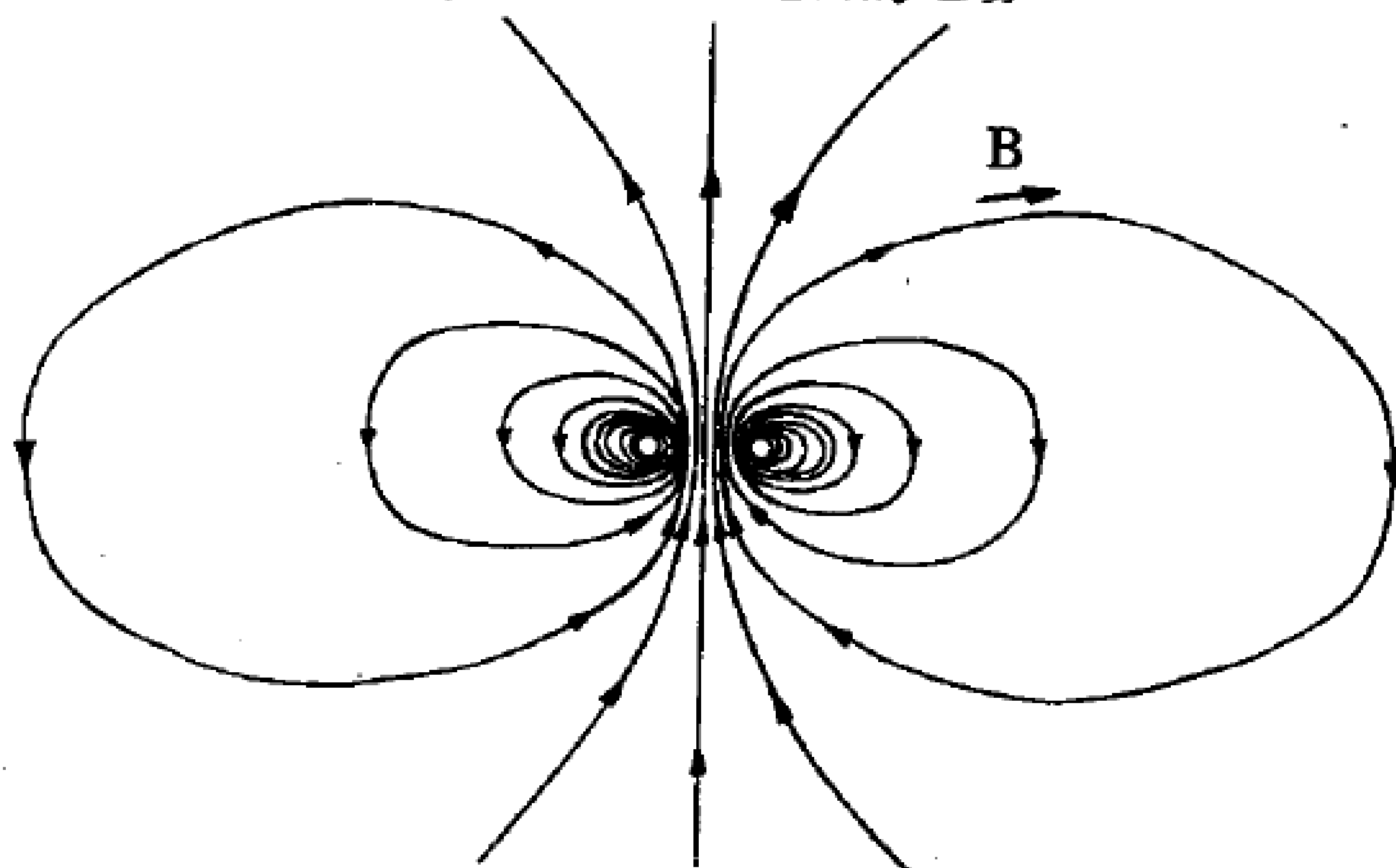


圖 15－118
圓線圈建立的磁場

式中 θ 是觀察者的位置向量與磁偶極矩方向間的夾角，r 是 $\vec{\mu}$ 到觀察者的距離，如圖 15－118 所示。這種磁場的場線與電偶極矩所建立的電場線頗相類似，如圖15－119所示。不過它只是類似，而不是相同，因為當磁場場線逐漸接近環線時，它和電場場線就有顯著的分別。尤其在電偶極間，電場場線是從正電荷到負電荷，指向下方。而磁偶極間



(a) 等量異性電荷的電場



(b) 繞線電流的磁場

圖 15－119　電偶極與磁偶極

，磁場場線仍然指向上方，不論在環線的內或外側，磁場場線都必須保持連續。因此即使有磁荷，磁荷也是不可分的，所以我們必須放棄古老磁學對磁荷的觀念，而採用安培磁矩的假設，換句話說，磁效應只是電流的效應，自然界本身不存在有磁荷。就物理意義而言，磁偶極矩和電偶極矩的來源完全不一樣，電偶極是一對正負電荷中間隔著一小段距離；電偶極的方向爲由負電荷到正電荷的方向，因此它是一個極向量。而磁偶極矩的方向是環線的面積的軸方向，因此是一個軸向量。

磁偶極本身既然建立了一個磁場，則在外加磁場作用下，當然會受力，以數學式子表示，此力即

$$\vec{\tau}=\vec{\mu}\times\vec{B}$$

也和電偶極的情形相似

$$\vec{\tau}=\vec{P}\times\vec{E}$$

而一個磁偶極在一個外在磁場內之位能則爲

$$U=-\vec{\mu}\cdot\vec{B}$$

此和電偶極的情形類似

$$U=-\vec{P}\cdot\vec{E}$$

【磁透鏡】（Magnetic lens ）

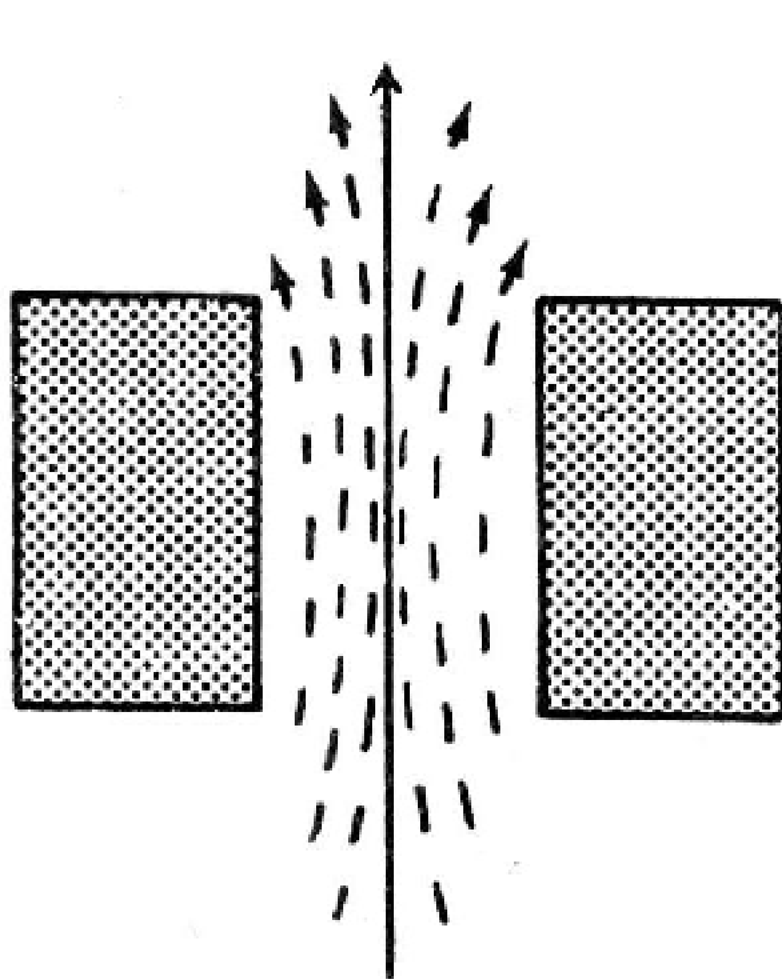
利用磁場可使電子束方向發生偏向，集中於一個單一的焦點之上，其效果就如同光線通過玻璃透鏡而聚於焦點一樣，所以產生這種磁場的裝置便叫做磁透鏡。

磁透鏡的聚焦，係由變動通過勵磁線圈的電流而得，此係變化磁場強度，隨而變動透鏡的焦距。變動磁場線圈中電流大小的方法，是在線圈電路中插入一變阻器（ *rheostat* ）。

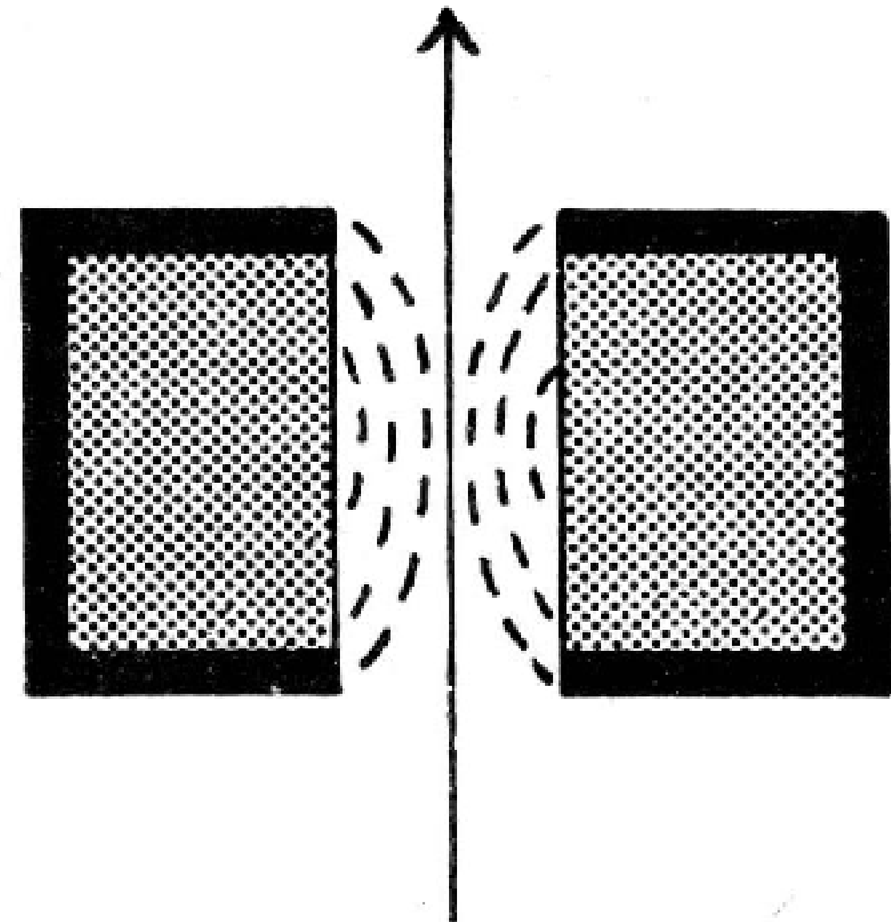
電子顯微鏡亦可使用永久磁鐵。此時，因無線圈電流可資改變，故須用磁透鏡。第一次用磁場集焦的實驗是在1899年。可是對電子束被磁場集焦的瞭解，則爲布組（ ***Busch*** ）工作的結果。在 1926～1927 年間，布

旭發表了一連串的論文，用數學和實驗來證明一個短短的柱形線圈，具有透鏡的功用。光學上有名的方程式並被使用於此圓柱線圈式透鏡，他的工作爲電子光學的園地奠定了基礎。

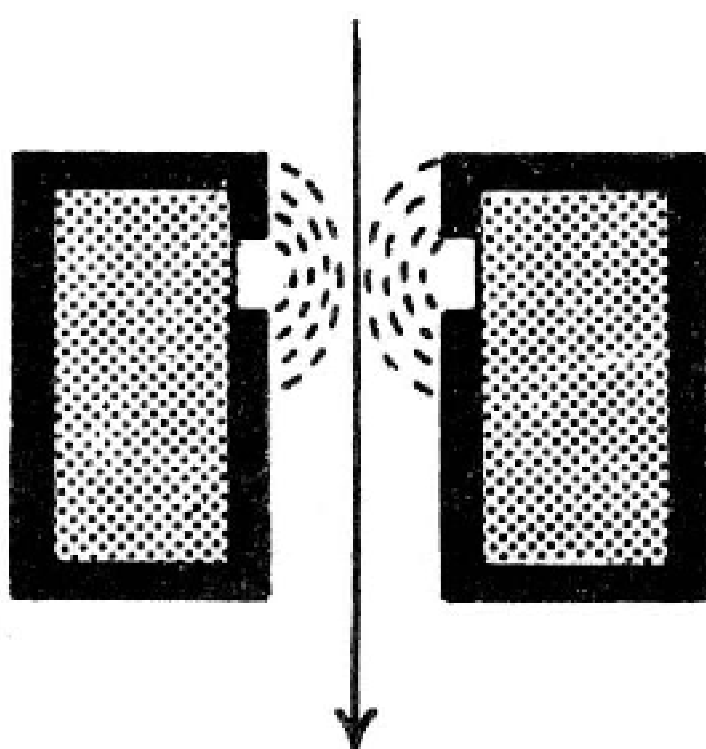
由於當電子束在通過一短小的柱形線圈所建立的磁場時，可於其在某一點逸離電子光軸後，帶回到同一光軸上的另一焦點，故磁透鏡能被



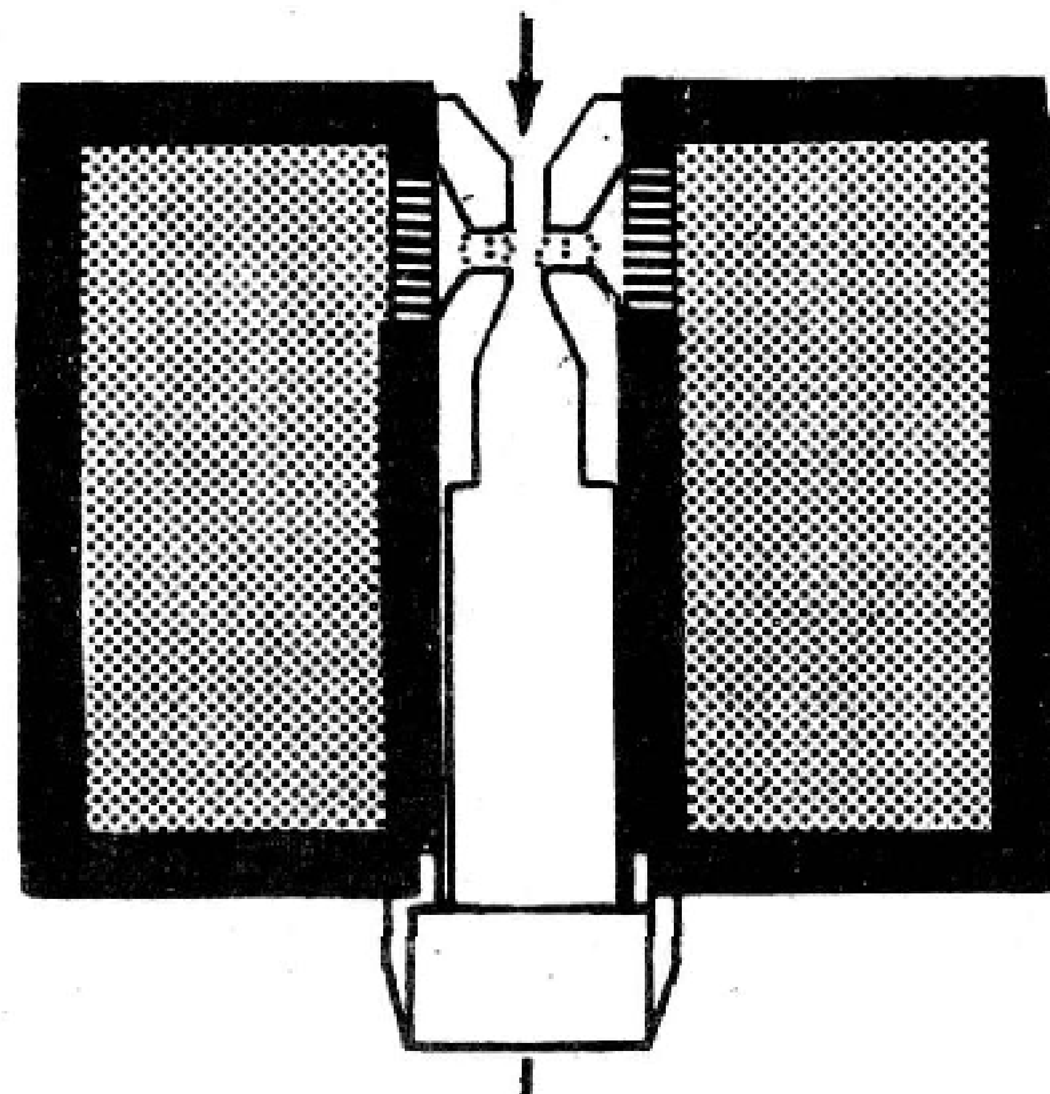
(a)布旭1925年所用短小圓柱線圈磁透鏡



(b)蓋博1927年採用鐵殼加於線圈外面以加強磁場



(c)羅斯卡與諾耳1931年將鐵殼改進，使僅留一孔口而使透鏡軸的磁強大增



(d)羅斯卡於1935年於線圈鐵殼上加上極片，使環狀孔口的磁場更爲集中，爲現代磁透鏡所採用

圖15—120　磁透鏡的改進

用以使透視物逐點形成影像。由於柱形線圈的中心，其磁場密度最大，如圖 15－120(a)及圖15－121所示。故電子束被拉回到電子光軸時，其離開逸離點的距離至短。1927 年，蓋博（*Gabor*）把線圈置於一鐵殼中，使磁場更形集中，如圖 15－120(b)所示。這樣，因爲磁力線經過了鐵殼，而使磁場的密度大爲增強。

1931年，羅斯卡和諾爾（*Knoll*）又循蓋博的方法再加改進，他們把線圈完全置於鐵殼之中，僅在它的內面留下一狹小的環形孔口，如圖 15－120(c)所示。如此而使沿著中心軸極小範圍內之磁場，有了更大的集中，如圖15－121所示。就產生的磁場強度而言，這樣的線圈比未用鐵殼蔽罩的線圈，只要很小的電流，便可獲得同樣的磁場強度。

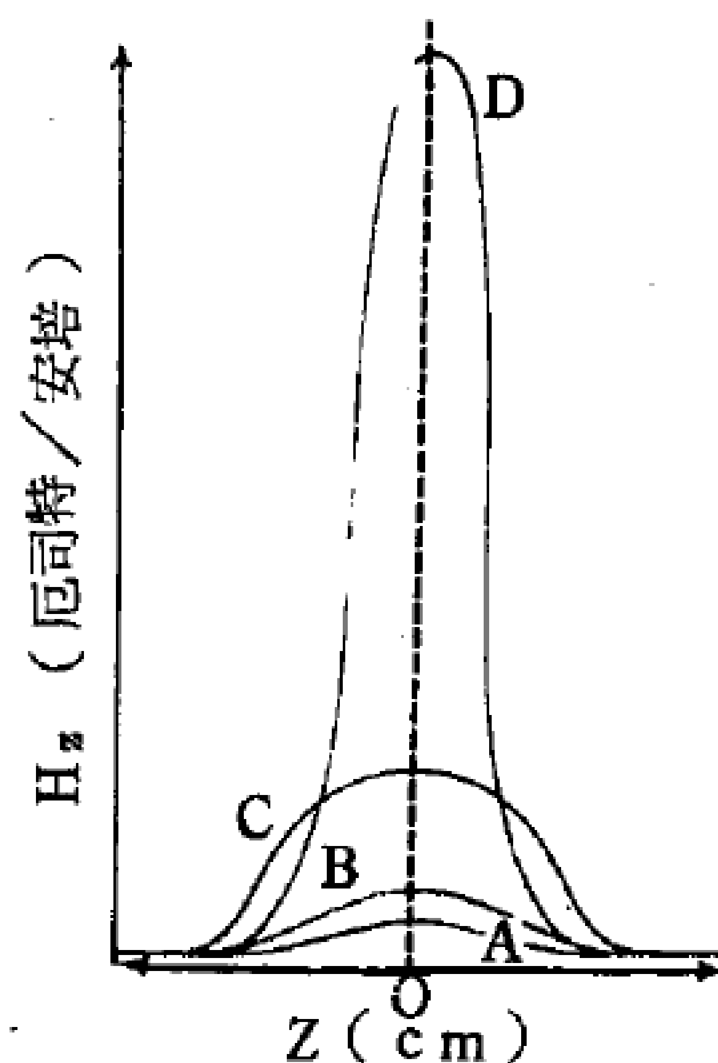


圖 15－121
磁場強度的分佈曲線圖

要使透鏡的放大率增高，必須使焦距的可變範圍愈小愈佳。這可以把磁透鏡的尺寸減小，並使線圈中的電流仍保持一定以得之。但這樣會因線圈受透鏡體積減小的限制，而不得不用很細的導線來繞製，結果會發生過量發熱的弊病。1934 年，羅斯卡爲克服這一困難，而在線圈鐵殼的環狀孔口處，加上二極片（*pole pieces*），如圖 15－120(d)的樣子。這一設計，便成爲此後磁透鏡的典型。由於其磁場極爲集中，而能使焦距縮小到極短，透鏡大小既很合宜，也可避免發生過量的熱度。另外的焦距變化機械以便集焦。永久磁鐵式透鏡的焦距，亦可以改變兩磁極間的空隙（*gap*）而變動之。

【磁量】（Quantity of magnetism）

指某一工具產生的磁力線的總量。

【磁量子數】（Magnetic quantum number）

亦稱磁軌道量子數（*magnetic orbital quantum number*）。當原子被置於強磁場中時，原子本身的磁矩與外加磁場產生相互作用，因而產生力矩，使原子角動量 $\vec{l}$ 在空間中與外加磁場的方向呈某定角（如圖 15－122 及圖 15－123）。$\vec{l}$ 在磁場方向的投影以 m_l 表示，我們稱 m_l 為磁量子數。m_l 的可能值共有 $2l+1$ 個；其值為 l，$l-1$，$l-2$，…，0，…，$-l$。磁量子數對軌道的大小和形狀沒有影響，僅決定軌道的方向。

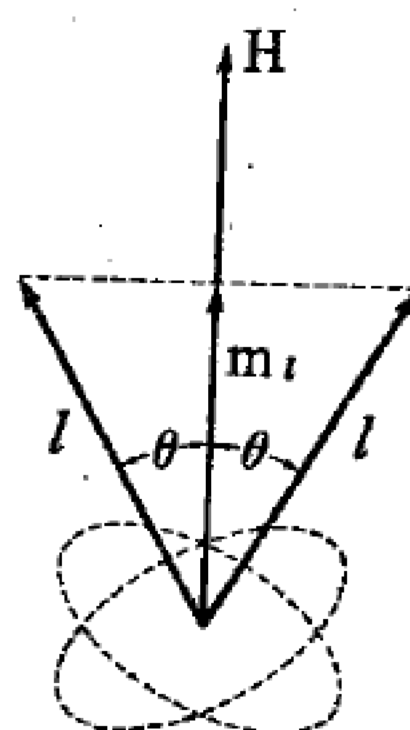


圖15－122
角動量向量 l 以磁場H為軸，作進動運動的情形

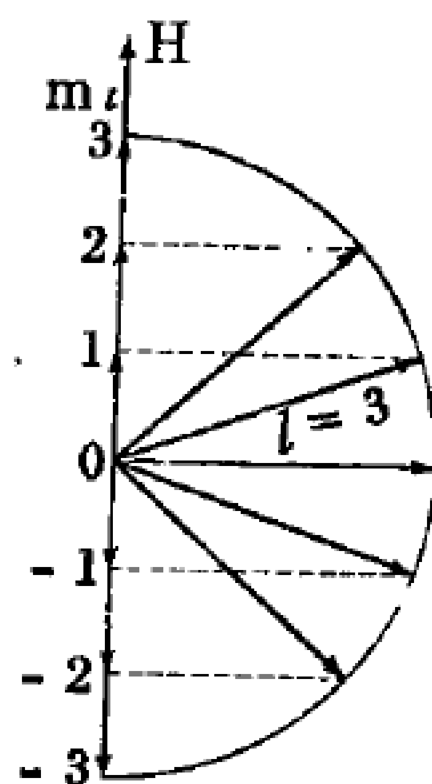


圖15－123
角動量 l，在磁場H方向的投影及磁量子數 m_l 的可能值

【磁軸】（Magnetic axis）

通過磁鐵的內部，連接兩磁極之直線，便叫磁軸。

【磁場】（Magnetic field）

在永久磁鐵或電流周圍所發生的力場，即凡是磁力所能到達的空間，或磁力作用的範圍，叫做磁場；所以嚴格說來，磁場是沒有一定的界限的，只有強弱之分別而已。與任何力場一樣，磁場是能力的一種形式，它將一個物體的作用傳遞給另一物體。磁場的存在，表現於它的各個不同的作用中，首先是表現於對場內所置放的磁針的作用上，力作用於磁針，使該指針向一定方向旋轉。自由旋轉磁針在某一地方所處的位置表示著磁場在該處的方向，即每一點的磁場方向都是朝著指針的北極端所示的方向。如果我們想像到有許許多多的小磁針，則這些小磁針將沿磁力線而排列，即沿著這樣的線而排列，這些線在每一點上的方向都與此點的磁場方向相同。磁力線始於北極而終於南極，磁力線在磁極附近較密，故磁極附近的磁場最強。磁場的第二個作用便是對運動中的電荷所產生的力，此力恆與磁場及電荷運動方向垂直。

磁場是一種向量場，包括磁力線或磁通量。通常磁場都是由磁感應

向量$\vec{B}$量度之。

產生磁場的方法有二：用(1)永久磁鐵或(2)電流（只有一種電荷的流動）來產生。

磁場的磁力線（其任意點之切線即$\vec{B}$向量在該點的方向）總是封閉路徑（如直線電流的圓形磁場），或由北極至南極的平滑曲線（如條形磁鐵的磁場）。

另外，還可以描述磁場的向量有磁場強度$\vec{H}$，磁化強度向量$\vec{M}$，和向量位$\vec{A}$等。

【磁場偏向】（Magnetic deflection）

利用磁場使運動電子產生偏轉的作用。當靜電場偏向不適用時，如雷達指示器及電視收像管等，只好用磁場偏向方式。用磁場偏向可免除管內偏向極的裝設，因而可使管的構造簡單化。磁場偏向的偏向力，來自圍繞管外頸部的線圈（見圖 15 — 125 ）。

將一帶電流的導線放在磁場中，因帶電流導線本身周圍的磁力線和外在磁場磁力線的相互作用，使此導線開始在磁場中運動。此導線周圍的磁力線，是由導線的電流所產生。而陰極射線管中的流動電子束，也就是電流，其本身也會產生磁力線，此磁力線與管外頸部線圈所造成的磁力線相互作用，所以使電子束的偏向方向相互垂直。

決定電子束在磁場中偏向的簡單方法，就是用右手定則（如圖 15 — 124 ）。如將中指、食指與拇指，互相垂直伸出，以中指表示電子束運動的方向（即電子流的方向），食指表示磁場磁力線的方向，拇指則表示電子束偏向的方向。

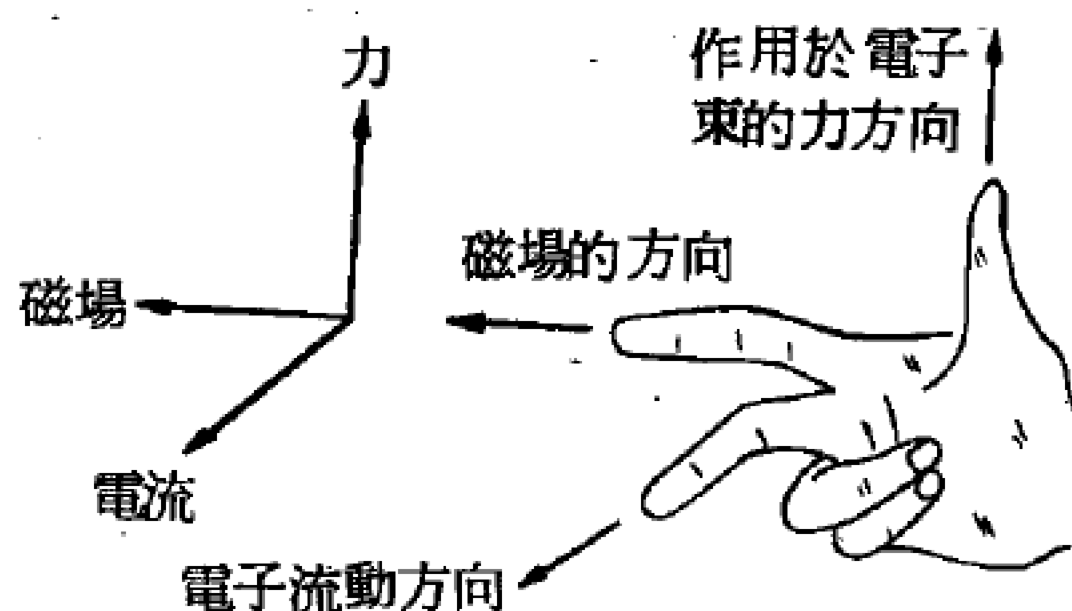


圖 15 — 124
電子束在磁場中運動方向的決定

圖 15 — 125 為一電磁偏向式陰極射線管垂直偏向線圈（ *ver-*

tical deflecting coil ）作用圖。對於水平方向的偏向，需要另一組水平偏向線圈（*horizontal deflecting coil*），兩組線圈相互垂直，偏向線圈使電子束偏向的大小，約與線圈的圈數和線圈中所通過電流的乘積成正比，也就是與線圈的安匝（*ampere - turns*）數成正比。如應用右手定則，可知圖 15 — 125 所示

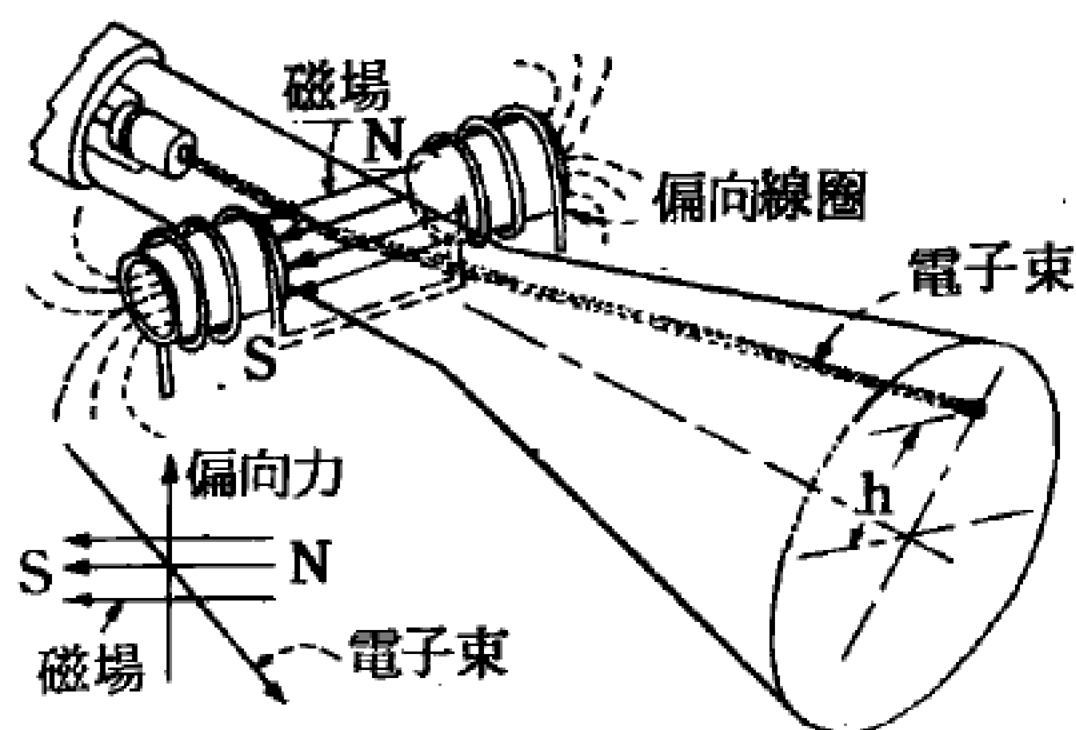


圖 15 — 125
電磁偏向陰極射線管垂直偏向線圈對電子束的偏向作用

電子束受磁場作用後，將向上偏向。在實際的磁場偏向式陰極射線管，其偏向線圈都繞成餅狀，並且包圍在管的頸部，但線圈所產生的磁力線仍需與電子束的方向互相垂直，與圖 15 — 125 所示相同。

【磁場強度】（Magnetic field intensity）

磁力線所通過的部分，稱爲磁場。在和磁力線垂直的表面上，每單位面積內通過磁力線的多寡，稱爲該處的磁場的強度。其單位爲韋伯／米^{2}或高斯

$$1\text{韋伯}/\text{米}^2 = \frac{1\text{牛頓}}{\text{安培米}} = 10^4\text{高斯}$$

線圈內部的磁場強度與電流強度及每單位長度的匝數成正比，而與線圈的長度成反比，但與線圈的直徑無關。

另一種表示空間某點上的磁場方向和大小的矢量。以一磁針放在磁場中各點去試驗，磁針所受的作用力大小和方向都不相同，此一特性名磁場強度，其單位爲厄司特。一厄司特是一單位北極在磁場中某一點受的作用力爲一達因時的強度。

【磁單極】（Magnetic monopole）

一種尚未發現的基本粒子。狄悅克（*Dirac*）在 1931 年將電磁場加以量子化，同時預測磁單極的存在。在指出磁單極所帶的磁荷（*mag-*

netic charge）必須是 $\hbar c / e$ 的整數倍（正或負）。磁單極的存在可用以解釋爲何一切粒子的電荷總是 e 的整數倍（正或負）。一切已知的磁性物質都有兩個磁極，但是磁單極卻是只有一個磁極的物質。

【磁鼓】（Magnetic drum）

磁鼓是電子計算機上一種旋轉圓筒形的記憶裝置。見圖 15 — 126，磁鼓以兩進位制方式儲藏資料於其圓筒邊的路徑（*track*）上，亦即通電流於線圈上而產生磁性作用，便可將資料讀寫於磁鼓上。這種磁鼓在成本上，比較便宜而且極爲可靠，但由於讀寫頭數目和磁鼓旋轉速度的限制，其資料處理速度，並不見得很快。磁鼓的讀出器和寫入器，都封在同一盒子裏，並且與外界的空氣隔絕。其平均取材料時間是 10^{-2} 秒，比磁帶所需的取材時間還要短，但與算術單位的運算速度比起來，仍然太長，所以磁鼓只能當做補助蓄存器用。

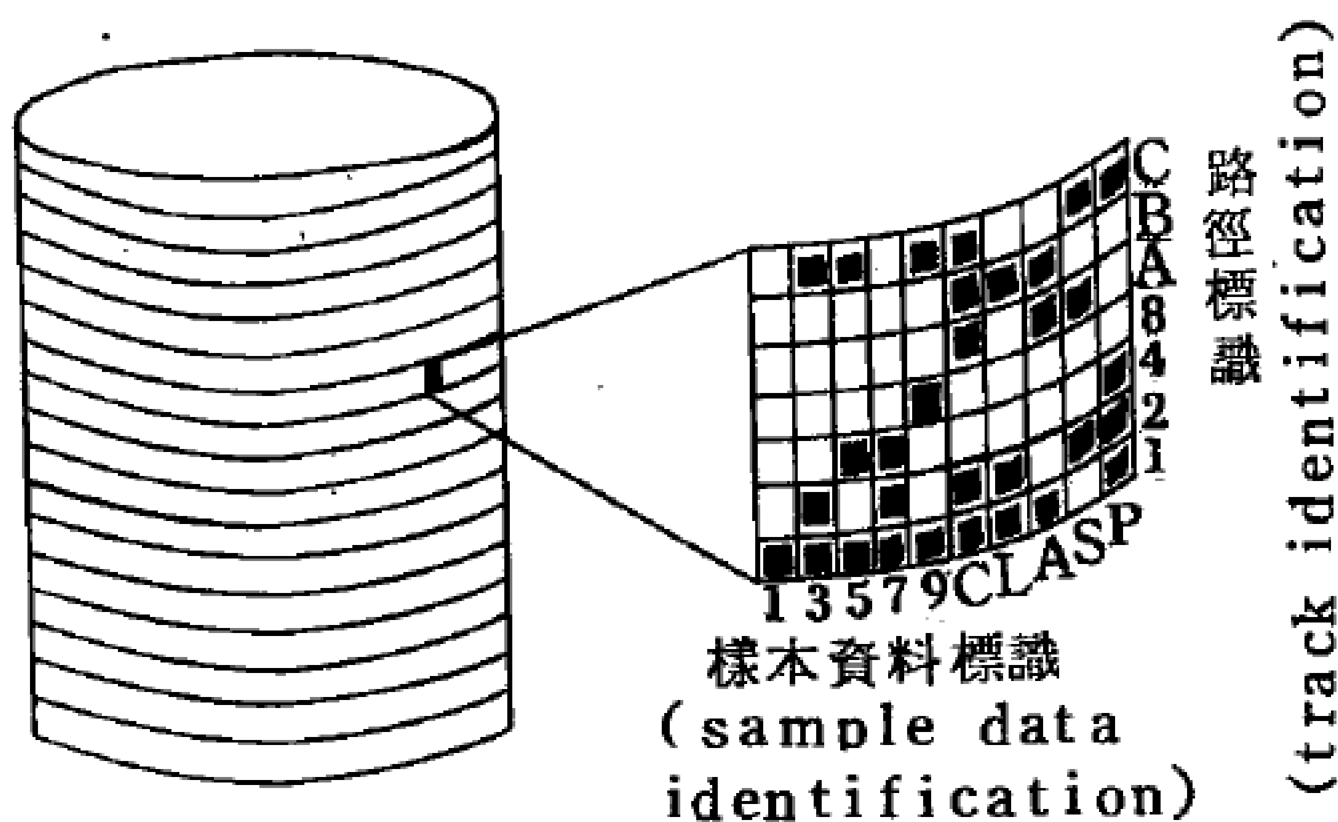


圖 15 — 126　磁鼓上資料的代表方式

【磁瓶】（Magnetic bottle）

在受制熔合的熱核實驗中，用來圍控或圍阻電漿的磁場稱爲磁瓶，可使粒子流從容器之側邊逐離並提高其溫度。

【磁極】（Magnetic pole）

磁鐵兩端磁性較強的部分，稱爲磁極，分爲 N 極及 S 極。N 極爲磁鐵在自由轉動時指向北方之端，S 極爲磁鐵在自由運轉時指向南方的一端。

若將磁鐵切成小塊，則各小塊將各自形成一個小磁鐵，其兩端即是磁極。地球本身也具有南北兩磁極，磁極不僅和地理上的兩極有偏差，

而且會隨時間而變化，黎明時指南針會偏向東方，七、八小時後就向西移動，午夜時偏到最西的位置，然後又偏回中間，日日循環不息。而在較長時期中，磁極又會有長程的變化。幾百年前的磁北極就和現在的位置不同。

至今人類對於磁極這種奇異的力量，仍然無法獲得一個令人滿意的答案。現在世界上已存有的關於磁極的理論，大多也不過是些磁力現象的解說而已，與基本學理差距尚遠。

【磁極性】(Magnetic polarity)

當物質受到外部場(磁化場)的作用時，產生出固有磁場的現象。磁極化的發生情況有如下面所述，繞原子核運動的電子可以看作是一些單元電流，它們也和所有的電流一樣，在自己的周圍建立起磁場來。沒有外部磁場時，所有這些單元電流及與之相聯繫的磁場都是漫無秩序地排列著，故平均說來，它們的磁場等於零(由於漫無秩序的排列，各個單元電流的磁場便互相抵銷了)。但在受到外部磁場的作用時(外部場對單元電流的作用和對磁針的作用情況相同)，單元電流便發生回轉，其磁場便與外部磁場的方向取得一致。這種單元電流及其磁場能與外部場的方向取得一致的物質叫做順磁性物質。在某些物質中，不但是單元電流不與磁場取得一致，而且在外部場的作用下，還會出現附加的單元電流，其磁場與外部場的方向相反；這種物質叫做反磁性物質。

當單元電流在外部場的作用下排列到一個方向時，其磁場並不相抵銷，而是互相疊在一起，於是就建立起了已磁化物質的固有磁場(內部磁場)。在順磁性體內，因為內部場與外部磁化場的方向相同，故物體中的合成磁場便大於外部磁場。由於這樣，順磁性物質的磁極化就使磁場得到加強。不過在受到外部磁場的作用時，並不是所有的單元電流都立刻排定方向，因為這裏要受到原子熱運動的阻撓，這種熱運動破壞著單元電流的正確排列。但隨著外部磁場的加熱，就有越來越多的單元電流

按外部場的方向排列，物質的極化程度逐漸增大，內部場就變得越來越強。

物質極化與引起極化的外部磁場強度之間的關係由物質的磁化率來說明，在外部磁場作用下，單元電流越是容易排定方向，則物質的磁化率便越大。大多數物質的磁化率都很小；但有些物質，即所謂強磁性物質（鐵、鈷、鎳各種磁性合金），則具有著很大的磁化率。在這些物質中能夠產生很強的內部場，其合成磁場可能比外部磁化場要大出許多倍（在某些物質內可以達到數千倍）。在反磁性物質中，則產生著磁場方向與外部磁化場相反的單元電流。故在反磁性物質內，內部場與磁化場方向相反並將磁化場削弱。

【磁路】（Magnetic circuit）

由強磁性材料所組成的廻路（有時具有不大的空氣間隙或非強磁性材料的間層），沿此廻路構成磁場力線通行的道路。磁通量在各分支磁路中分配的定律與電流在並聯電路各分支的分配定律相似。如果按電阻概念引入磁通路上各單獨部分的磁阻這一概念時，上述的相似點表現得特別明顯。通路的區段越短，其橫截面越大以及通路中物質的導磁率越高，則此區段內的磁阻便越小。磁通量在各支路之間的分配與這些支路內的磁阻成反比，這與電流在並聯支路內的分配與支路電阻成反比的情形相似。特別是在由強磁性物體（因導磁率很高，故廻路具有很小的磁阻）所組成的，對磁力線來說是閉合的或幾乎閉合的廻路中，差不多全部磁通都是通過這個廻路，而只是一個不十分顯著的部分才散佈於周圍的空間。所以由強磁性體所構成的廻路是一個幾乎通過全部磁場力線的磁路。變壓器的閉口鐵芯便是磁路的例子。

【磁路歐姆定律】（Ohm's law for magnetic circuit）

一直流磁路類似一直流電路，其磁力線乃依據其磁動力強弱及磁路磁阻大小而定，且和磁動力成正比，和磁阻成反比。

【磁電子說】(Electronic theory of magnet)

電流的流動既能產生磁場，而電子又爲形成電流的單位電荷，則電子在運動時，當然亦於其自己的周圍建立磁場。順磁性物質(*paramagnetism substance*)在未被磁化成磁體之前，其電子運動中所各別建立的磁場，在漫無秩序地雜亂狀態下未能排列整齊而不顯磁性；但當受到外部磁場的作用時，每個電子的運動會被迫調整其方位，使它們各別的磁場方向取得一致而磁極化(*magnetic polarization*)。磁極化的結果，使順磁性物質具有其自己的內部磁場。若將順磁性物質繼續置於極性相同的外部磁場中，則內部磁場受外部磁場的磁化而最後成爲一磁體。此磁體的磁性每較外加磁場更爲強大。不過當磁性物質在受外部磁場的磁化作用時，由於其原子的熱騷動，會阻擾電子磁性的正確排列，必須把外加磁場逐漸加強，使其完全磁化到飽和點(*saturation point*)爲止。

由於對原子中電子組態的瞭解，已知4*f*層的電子組態爲決定物質特殊物理性的主要原因。順磁性物質的4*f*層電子組態，其關係非常複雜，故尚未確實明瞭。已知的事實是：電子的旋轉運動會產生一磁場。各電子層中的電子常作成對的反向旋轉。各主要電子層中的電子數雖都屬偶數，但各副層中的電子數不一定都爲偶數，故每有不成對的電子存在。若某一類物質的原子中，其副層電子有一不成對的電子，此物質即會帶一點磁性。這一磁性以磁矩(*magnetic moment*)來定其大小。某些物質尤其是稀土族元素中，常有二個以上不成對的電子。稀土族的4*f*電子層的磁矩比任何物質爲大。除鐵、鎳、鈷以外，週期表中的任何其他元素的磁矩都是零或近於零。因此稀土族元素的磁性較鐵還要具更大的能力，稱爲鐵磁性(*ferromagnetism*)。三價的稀土元素在室溫時，釓(*gadolinium*；*Gd*)有鐵磁性，但甚易失磁。在室溫以下，鋱(*terbium*；*Tb*)、鈥(*holmium*；*Ho*)、鉺(*erbium*；*Er*)

、銩（ *thulium*；*Tm*）、鏑（ *deuterium*；*Dy* ）都有鐵磁性，鏑的磁化溫度須在 −188°C以下。使某一物質有鐵磁性的某一溫度，也稱爲該物質的居里點，此居里點每與 4*f* 層中不成對電子數成正比。釓是稀土元素中居里溫度最高的一個，約在 776°C 左右。將釓置於冷水中，若降低其溫度到室溫以下，卽能被永久磁鐵吸引；倘再置於熱水中加熱，則又失去其磁性。

稀土元素的鐵磁性，都是 4*f* 層電子組態所形成，鐵的磁性則由於其 3*d* 層中有不成對電子的結果。

非磁性物質，大都由於其電子層組態中沒有不成對運動的電子所致。但鉍（ *bismuth* ；*Bi* ）的電子的組態不但是成對反向運動而爲非磁性物質，而且爲非常獨特的反磁性（ *anti-magnetic* ）物質。在超冷凍下成爲超導體物質之一，能製作軸承於磁場中懸空運動。錳（ *manganese*；*Mn* ）在平時雖爲非磁性物質，但若摻以鋁（ *aluminum*；*Al* ）及銻（ *antimony*；*Sb* ）時，可成爲極強的鐵磁性合金。

【磁電式揚聲器】（ Electric magnetic type speaker ）

磁電式揚聲器是利用鐵樞繞著通有音波電流的線圈，在永久磁鐵的磁場中動作，因此又稱爲永久磁鐵型揚聲器。這類揚聲器又分爲平衡型及不平衡型兩種。

1. 平衡型——如圖 15 — 127 所示是平衡型揚聲器的剖視簡圖。在一塊馬蹄形永久磁鐵的前端，裝上二個雙極的鐵軛。在這二個雙極鐵軛中間，有一根中心爲支點的短鐵棒，叫做電樞（ *armature* ）。在電樞周圍有一個通過音波電流的線圈。這一

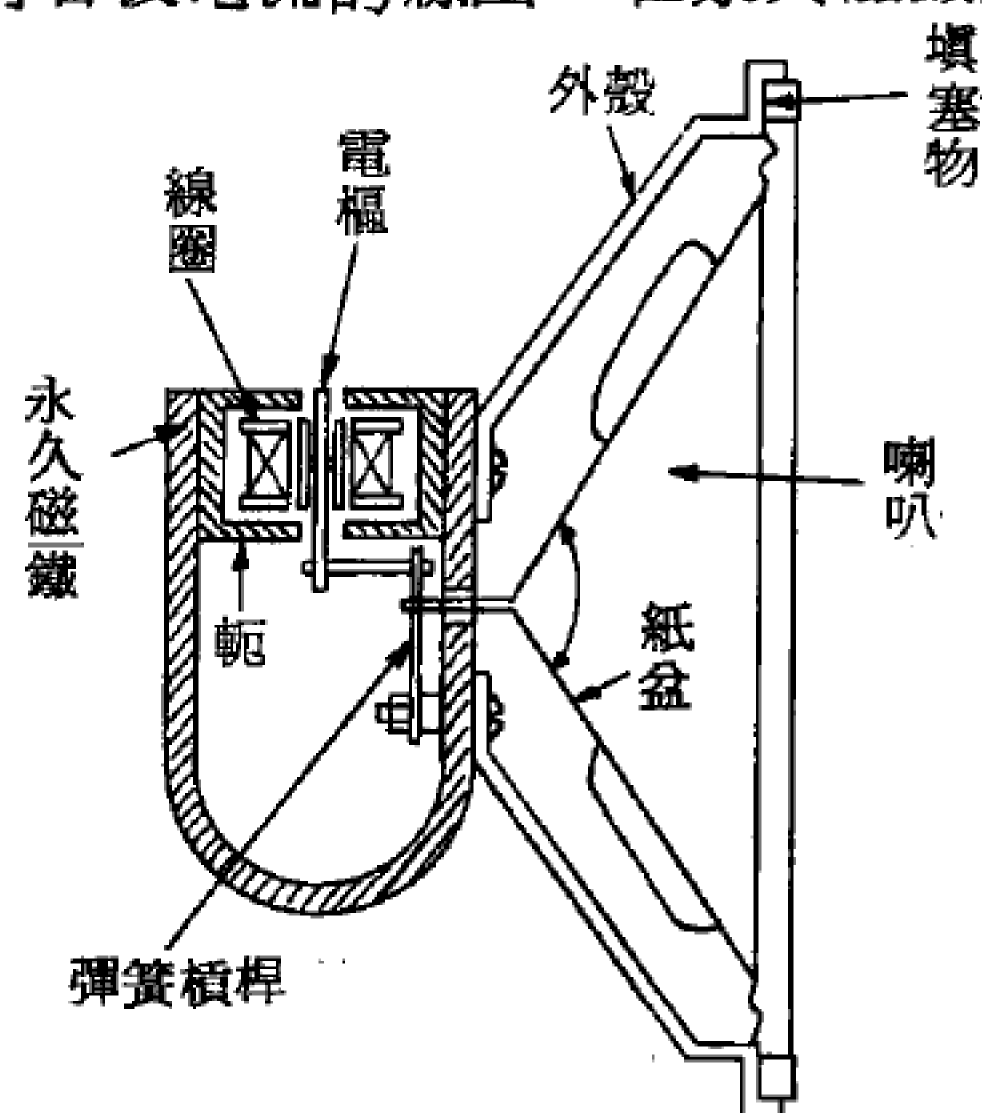


圖 15 — 127 平衡型磁電揚聲器

線圈通常用極細的絕緣導線繞好幾千圈。在電樞的一端，連接至一彈簧槓桿；彈簧槓桿的另一端固定；中間的彈動部分用一根短的推動桿和紙盆接牢。紙盆的周圍用羚革或軟橡皮接合，再和支架接合。

在沒有電流通過線圈之時，電樞靜止。當電流通過線圈時，就產生磁力線。磁力線的方向隨音波電流的交變而變化。例如，當電流的上半週通過時，電樞的上端爲*S*極，下端爲*N*極，因爲上端被磁鐵的*S*極斥拒而被*N*極吸引，下端被磁鐵的*N*極斥拒而被*S*極吸引，電樞在永久磁鐵與電樞的磁力線交變的推動下，就順時針旋動一些，將彈簧槓桿向左拉動。在下半週時，因相反的磁力線作用，使電樞反時針方向移動，將彈簧槓桿向右推動。因此，促使紙盆產生與音波電流頻率相同的振動。

上述的平衡式磁電型揚聲器，電樞中由交變音波所產生的交變磁力線，和永久磁鐵的磁力線所產生的運動的力，需要消耗在(1)用來克服各動作部分的慣性。(2)用來克服彈簧槓桿的彈性。(3)用來克服揚聲器裏的摩擦阻力及造成音波的空氣阻力。(1)、(2)項的阻力，在若干機械諧振頻率下，彈性阻力與慣性阻力有互相中和的作用，但是上述的阻力仍是失眞的來源，機械諧振也是失眞的原因。所以磁電型的揚聲器，雖然有槓桿裝置使有較大的音量輸出，近年來除了特殊的用途外，已極少採用。

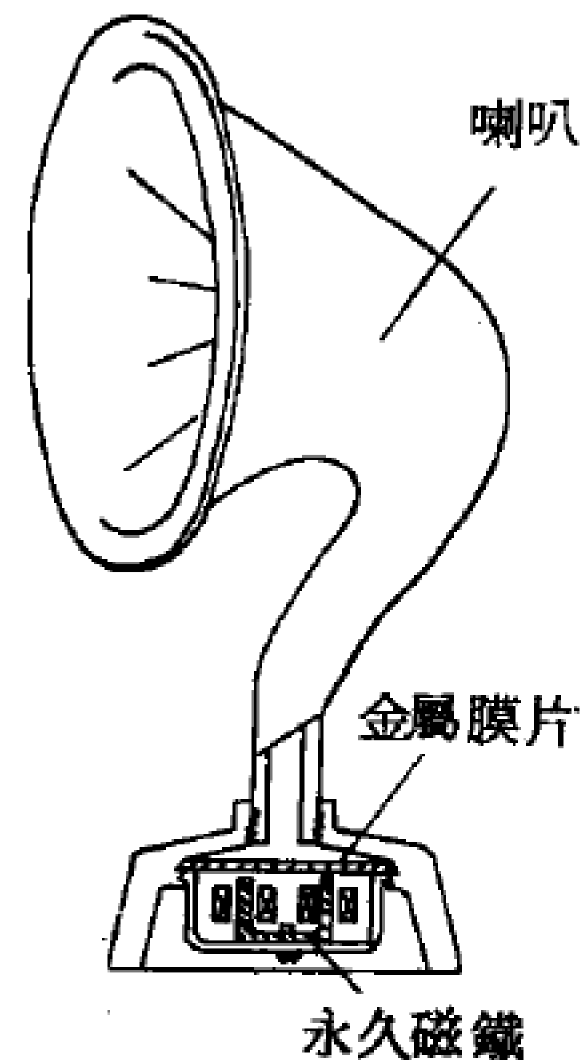


圖 15—128
不平衡型磁電式揚聲器

2.不平衡型——圖 15—128 爲不平衡型的磁電式揚聲器的構造簡圖。其構造的原理與耳機的情形相彷。也是以音波線圈纏在*U*形的永久磁鐵上，在永久磁鐵的前面設有能爲磁鐵吸引的金屬膜片。因爲膜片振動的力量直接由永久磁鐵及音波電流所產生的拉力的強弱所決定，所以在構造上通常連有喇叭，以幫助其聲音的傳輸。

【磁感耦合】(Flux coupling)

兩電路間藉線圈中通過交流電時產生的磁力線之交互感應以傳遞電能者，稱爲磁感耦合。變壓器耦合即爲典型的磁感耦合。在聲頻電路中，鐵芯變壓器的耦合，以初次級間總阻的配比決定之，即以電能的完全傳輸爲目的。射頻電路則除總阻配比外，更重視其頻率的選擇性。頻率的選擇性又完全以耦合係數 k 的大小爲重要的決定因素。

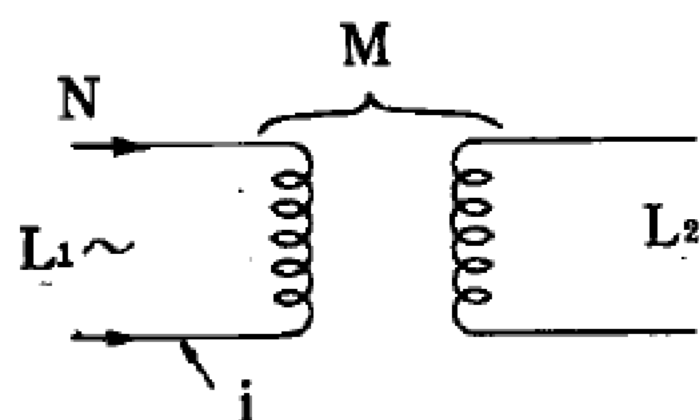


圖 15 — 129

磁感耦合之耦合係數 k，和初、次級間的互感量 M 成正比，與兩線圈的自感量 L_1，L_2 乘積的平方根成反比。即：

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

兩線圈間的互感量 M，視載流線圈之磁力線 ϕ 跨接於另一線圈的多寡而定。線圈產生磁力線的多寡，又視安培圈 Ni 而定。若以載流線圈產生的磁力線爲常數，則線圈圈數與電流之關係爲反比，即線圈增多，電流應減少；反之電流加大，則線圈圈數應減少。故互感量 M 應爲：

$$M = \frac{N\phi \times 10^{-8}}{i}$$

式中 N 爲載流線圈 L_1 的圈數。i 的單位爲安培。ϕ 的單位是韋伯。

一線圈的磁力線穿過另一線圈的多寡，決定於兩線圈間的距離。距離愈小，耦合愈緊，反之則愈疏。聲頻變壓器是緊耦合 (*close coupling*) 線圈，射頻變壓器大都爲疏耦合 (*loose coupling*) 線圈。電感圈間的耦合愈疏者，電能的傳輸愈小而選擇性愈高，對副波的抑制性大，輸出頻率更爲尖銳。過緊的耦合，在初、次級線圈間將引起過多的總阻反射，使線圈的 Q 值大爲減小，會增加射頻電能的損失，及產生更多副波的機會而引起干擾，減少輸出。

【磁感應】(Magnetic induction)

被磁化了的物質內的合成磁場，是磁化物質本身的內部磁場與外部磁場相加的結果。爲了將磁化物質內的合成磁場與離開此物質而獨立存在的磁化場有所區別，故用磁感應一詞。物質裏面的磁場，即磁感應，是由使物質發生磁極化的外部磁場與極化了的（磁化了的）物質本身所產生的內部磁場相加而成。如果內部磁場的方向與外部磁化場的方向相同（這種情形見於順磁性物體與強磁性體中），則磁感應將大於磁化場。

表示某物質內的磁感應爲磁化場多少倍的量叫做該物質的磁化率。因而磁感應的場強 B 與磁化場的強度 H 之間便有關係式爲

$$B = \mu H$$

此處的 μ 是物質的磁導率。採用磁導率很大的物質（強磁性體）可以在某一定磁化場的情況下獲得很大的磁感應。正是爲了這個目的，在變壓器等中間就採用了鐵芯。不過在強磁性材料內所能獲得的最大磁感應受到磁飽和的限制。在強磁性材料的特性曲線上通常都表示出最大磁感應的值，在這個磁感應以後，材料內便出現了飽和。磁化物體的內部磁場可能影響到物體外面的磁場。例如在閉口鐵芯內作一個很細的橫斷縫隙（間隙），則磁化了的鐵芯的內部場幾乎全部地穿過這一縫隙。由於這個緣故，間隙內的磁場便比這個使鐵芯磁化的線圈在沒有鐵芯時所產生的磁場要強得多，並大致地等於鐵芯內的磁場，即鐵芯內的磁感應（因此常常用間隙內的磁感應代替間隙內的磁場的說法）。這一點可以應用於欲在不大空間內獲取很強磁場的時候，例如用在電動揚聲器，磁電式儀器等內。

廣義的磁感應，除了磁化現象的本身，即在外部磁場作用下產生磁極化的現象也叫做磁感應。

【磁感應加速器】(Magnetic induction accelerator)

爲加速器之一種，應用磁感應之原理裝置而成。

【磁感應強度】(Magnetic induction)

卽單位面積上磁感應線之數

$$磁感應強度(B)=\frac{磁通量(\Phi_B)}{截面積(A)}$$

【磁傾角】(Magnetic inclination ; Dip)

將磁針的重心懸著，如圖15—130，使能在磁子午面內轉動，則在磁赤道時，因針的兩端所受地磁極的引力相等，故成水平位置。若在兩半球時，則因磁針兩端所受的引力不等，故向地面傾斜，磁針在磁子午面內所指的方向，和水平面所成的角度，稱爲磁傾角。通常在北半球、磁針N的極向下傾，在南半球，則針的S極向下傾。磁傾角實卽爲地磁場方向與水平面之交角。此交角亦隨地而各不相同。

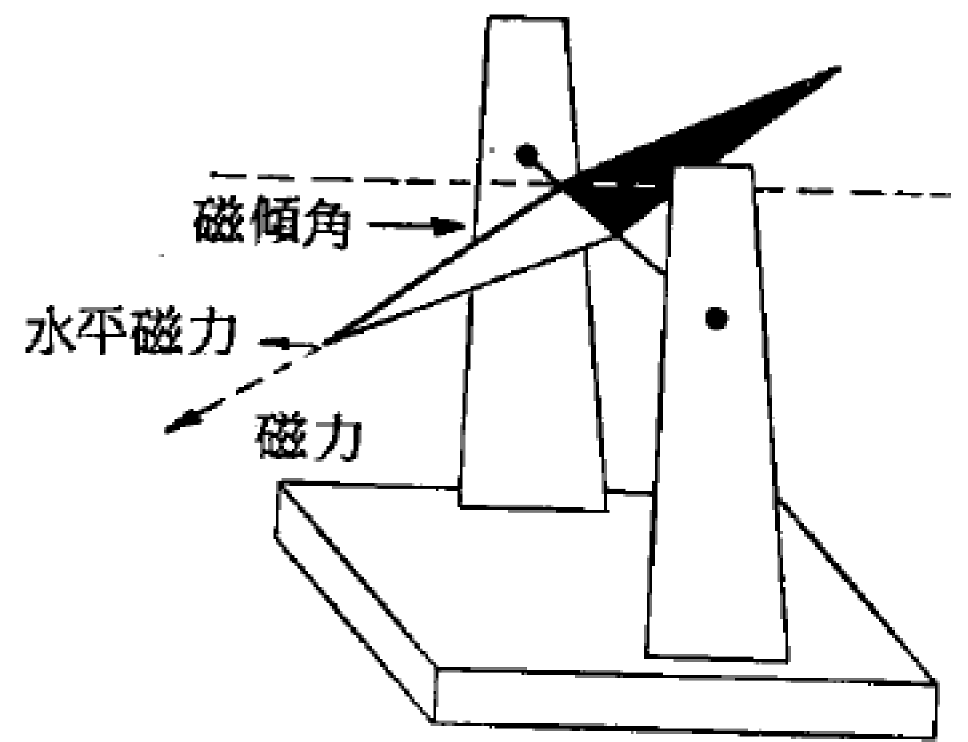


圖15—130

【磁傾儀】(Dip circle)

測定地磁傾角之儀器名爲磁傾儀。

【磁漏】(Magnetic leakage)

磁路之橫截面過小，未能容納全部力線時，部分磁力線就漏去，通過磁路之磁力線減少，謂之磁漏。

【磁漏與磁罩】(Magnetic leakage and screen)

一個理想的磁路，應儘可能使其磁力線在磁性材料中完成閉路，但終不免有少量磁力線散入空間成爲磁漏而增加磁阻。

磁漏現象會在電子電路中構成磁性雜耦合(*random magnetic coupling*)，足以影響電子電路及電子管的正常工作，或在鄰近的金屬部

分產生感應渦流（ *eddy current* ）。渦流損失與頻率的平方成正比，足以促起磁衰減（ *magnetic damping* ）的損失，增加額外的溫度。

為避免磁性雜耦合的作用，可將磁體加上鐵罩以作屏蔽（ *shield* ），稱為磁罩（ *magnetic screen* ）。

【磁滯】（ Magnetic hysteresis ）

將鐵塊置於外加磁場中磁化時，發生兩種作用。一是在順磁方向的磁田範圍增大，而使不在順磁方向的磁田範圍減小；另一是在磁田之中諸雙極的方向可以全體一致擺動，而更接近磁場方向。由於當移去外磁場 $\overrightarrow{B_0}$ 時，磁田邊界並不完全回至原來位置，故造成磁滯。當磁場由零增大時，磁化強度則漸漸增大至飽和磁化強度。此時若將磁場慢慢變小，則磁化強度並不沿原來的變化曲線回復原狀，而沿另一曲線變化。此種現象謂之磁滯。

【磁滯迴線】（ Magnetic hysteresis loop ）

若於一鐵磁物質上施以一磁化力，當自零而增加時，其磁通密度與磁化力之關係，如圖 15 — 131 所示之 *oa* 部分，即為正常飽和曲線。但當磁化力降低時，其磁通密度並不沿 *oa* 而下降，卻沿 *ob* 線而降低。於達 *b* 點時，磁化力已為零，但其磁通密度並不為零，*ob* 所示之磁通密度，即所謂剩磁(*residual magnetism*)。若欲使其磁通密度復變為零，必須施以一反向之磁化力以抵銷之；此反向之磁化力稱為矯頑磁力（ *coercive force* ），當反向磁化力達 *oc* 時，磁通密度始降為零。

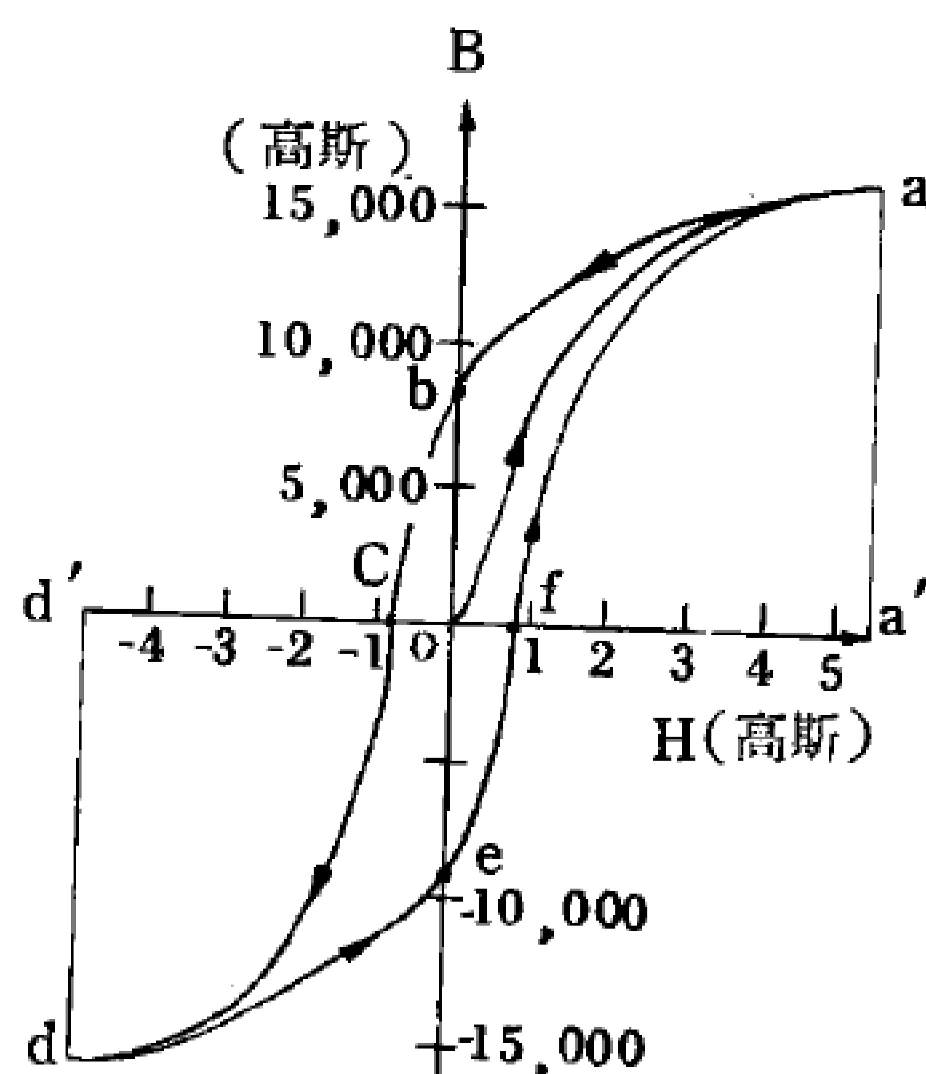


圖 15 — 131　磁滯迴線

此時若繼續增加此反向磁化力至 *d′*，且使 *od′* = *oa′*，則磁通密

度達於最大負值 $d'd$，且該值與 $a'a$ 相等，今將此反向磁化力減低至零，則負頑磁性 $oe=ob$，故須施以正向矯頑磁力 $of=oc$ 始足以抵銷之，而使磁通密度復為零。當正向之磁化力再達 oa' 時，其磁通密度亦重返原值 a。故磁化力經一次正負變化所得之磁化曲線成一封閉廻線，謂之磁滯廻線。

【磁滯損失】(Magnetic hysteresis loss)

因磁滯所引起變熱的損失。

【磁滯損耗】(Hysteresis loss)

交流電通過鐵芯線圈，磁力線落後於磁動力所造成的滯後現象，每週必須費去一部分電力去克服因滯後而存留於鐵芯中的殘磁。

【磁膜】(Magnetic thin - film)

電子計算機中的記憶裝置，磁膜的作業方式在原理上，頗與磁心相似，但在磁膜的記憶單位中，不用磁心，而代之以一種放置於玻璃或塑膠等絕緣體上的細小金屬薄片。這些由細線連接的金屬小點便形成電腦記憶板，為一種快速而可靠，且富有衝擊力的記憶媒體。

【磁盤】(Magnetic disk)

電子計算機所使用的一種圓盤形的記錄器。每一圓盤分成很多條路徑，每一條路徑又分成許多格子，其尋址的方法，須靠一接近臂，由於此臂的上下移動，前後伸展及圓盤本身的旋轉作用，才能尋找所需要的地址(*address*)。

磁盤常被用來儲存分類資料、翻譯機所用的字典、大的對照表，以及帳目等。磁盤的用途與磁帶相同，只是容量小一些而已。

【磁暴】(Magnetic storm)

地球的磁場有時會發生迅速而強烈的變化，並在瞬刻間傳遍全球各處，這種現象稱為磁暴。磁暴發生後，無線電波的傳播特性失常，而對短波的影響更大，情況嚴重時，能使某些通信網連續在幾天內不能通訊。

磁暴之發生和太陽上黑子的活動有很密切的關係，大約每二十七天有一次輪廻，此時極光會有顯著的加強。

【磁彈性耦合】（Magnetoelastic coupling）

乃鐵磁物質中晶格的彈性應變隨磁化方向而改變之現象。

在立方晶體中，若磁化強度向量對晶軸的方向餘弦爲 α_1，α_2，α_3，磁彈性耦合能量可表之爲

$$U_c \cong B_1 \left(\alpha_1^2 e_{xx} + \alpha_2^2 e_{yy} + \alpha_3^2 e_{zz} \right) + B_2 \left(\alpha_1\alpha_2 e_{xy} + \alpha_2\alpha_3 e_{yz} + \alpha_3\alpha_1 e_{zx} \right)$$

式中 e_{xx}等是應變張量的分量。B_1 和 B_2 稱爲磁彈性耦合常數。

【磁層界】（Magneto pause）

卽磁力層與行星太空的交界。

【磁熱量效應】（Magnetocaloric effect）

乃當外加磁場改變時，鐵磁性物質內能的改變，在絕熱情況下可以由其溫度的改變而觀察到，這種隨磁化作用產生溫度改變的現象稱爲磁熱量效應。如果用 ΔT 代表樣品的溫度改變量，ΔH 代表磁場的改變量，M_{HT} 表在溫度 T 磁場 H 時的磁化強度，C 代表比熱，則

$$\Delta T = -\frac{T}{C} \frac{\partial M_{HT}}{\partial T} \cdot \Delta H$$

【磁學】（Magnetism）

卽研究一般磁現象之科學。

【磁導】（Permeance）

磁阻的倒數，其意義與磁阻相反。

參閱“磁阻（*Magnetic reluctance*）”條。

【磁導常數】（Permeability constant）

物質和空氣的磁導率之比稱爲磁導常數。在 M.K.S. 制中，以每米法拉（*farad/m*）爲單位，並以 $1/4\pi \times 10^{-9}$ 爲實用計量標準。

【磁導率】(Magnetic permeability)

物質在外加磁場 $\vec{B}$ 的作用下，會產生磁化強度 $\vec{M}$，為計算方便計，茲定義

$$\vec{H} \equiv \vec{B} - 4\pi\vec{M}$$

因

$$\vec{M} \equiv \chi_m \vec{H}$$

所以將後式代入前式可得

$$\vec{B} = (1 + 4\pi\chi_m)\vec{H}$$

$\vec{B}$ 與 $\vec{H}$ 的比例常數即該物質的磁導率，通常以 μ 表示，即

$$\mu = 1 + 4\pi\chi_m$$

這樣將 $\vec{B}$ 與 $\vec{H}$ 的關係簡化為

$$\vec{B} = \mu\vec{H}$$

相對磁導率（或比磁導率）μ_r 為物質的磁導率 μ 對自由空間的磁導率 μ_0 之比，即

$$\mu_r = \mu / \mu_0 = B / \mu_0 H$$

在 $C.G.S.$ 和 $e.m.u.$ 制中，μ_0 均等於一。在 $M.K.S.$ 制中

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ 韋伯／安培米。}$$

【磁導調諧】(Permeability tuning)

諧振電路的調諧作用，由變更線圈鐵芯位置而獲得。

【磁機械比】(Magnetomechanical ratio)

由於電荷的自旋或軌道運動均會產生磁矩。在自由空間中，其磁矩 $\vec{\mu}$ 與總角動量 $\vec{J}$ 的關係為

$$\vec{\mu} = \gamma\vec{J}$$

式中 γ 是純量，稱為磁機械比，亦稱為廻轉磁比率（*gyromagnetic ratio* 或 *magnetogyric ratio*）。上式適用於原子、離子及原子核。

【磁壓】(Magnetic pressure)

爲磁場所帶有的能量密度。在磁場中貯藏有能量，由於單位體積中的能量相當於單位面積上的作用力即壓力，因此可以說磁場施予壓力。在熱核裝置中包容離子體時，磁壓一定要大於離子體的動壓力。一大氣壓的壓力約相當五仟高斯的磁場，磁壓與磁場強度的平方成正比。

【磁聲效應】(Magnetoacoustic effect)

當聲波通過介質時，因介質中離子的運動而產生一與聲波同頻率的電場。如果在垂直於聲波進行的方向加一磁場，因電子軌道與局部電場有互相加強或抵銷的作用，而影響介質對聲波的傳導率，此現象稱爲磁聲效應。

圖 15 — 132 中磁場加在進入紙面的方向，電子軌道則如 *A*、*B*、*C* 所示，聲波由左至右進行(爲易於瞭解起見此聲波取爲橫波)，箭號代表聲波所引起的局部電場。在電子軌道 *A*、*B* 的左右兩支，電子所受的加速相加，所以電子的反應很強，聲波傳導率大。若將磁場強度減半，則電子軌道增大一倍，如 *C* 所示。此時在左右兩支，電子的加速作用相抵銷，所以電子的反應很弱，聲波傳導率小。所以在磁場改變時，聲波的傳導率呈週期性之變化，由此可測知介質費米(*Fermi*)曲面的橫截面。

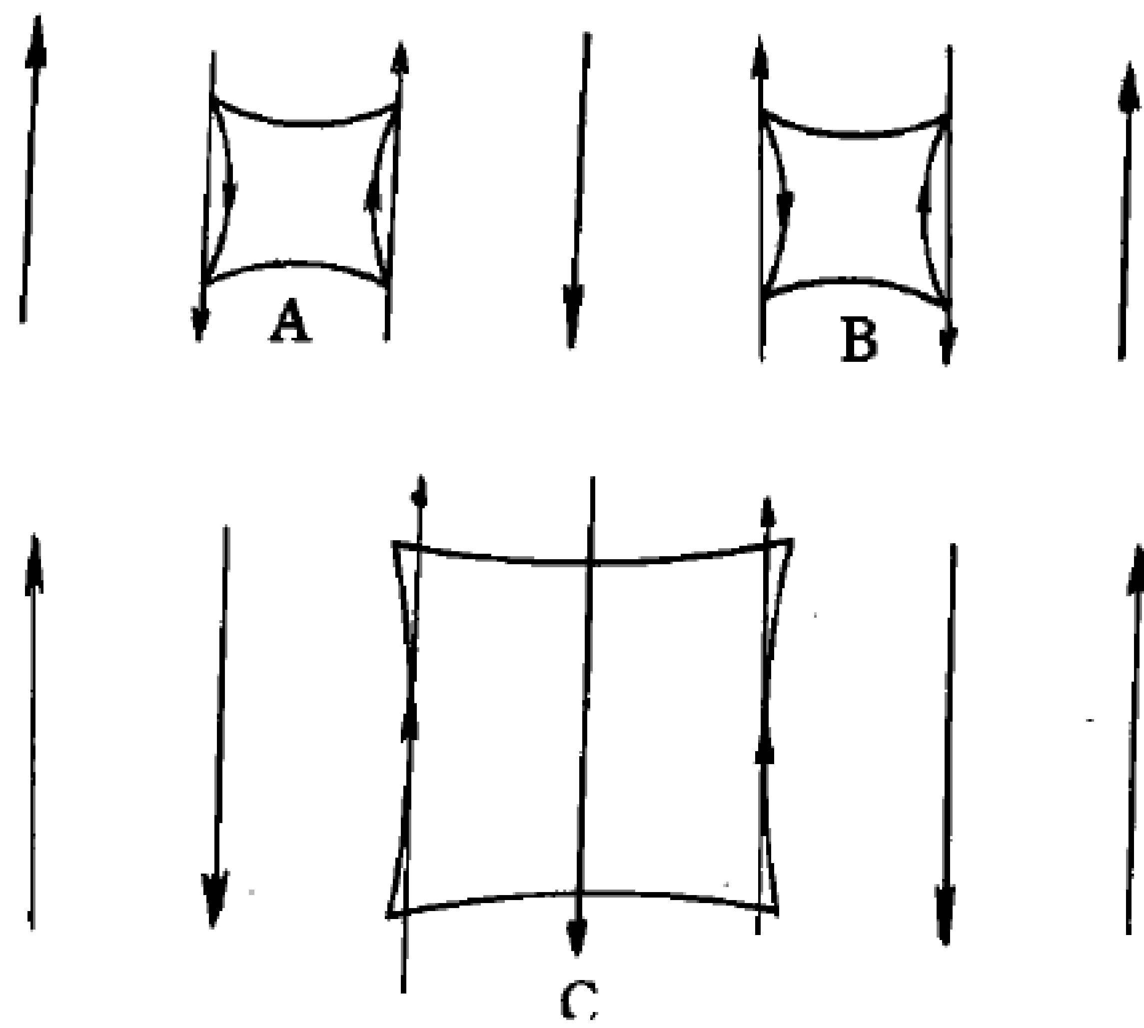


圖 15 — 132

【磁轉電流計】(Moving magnet galvanometer)

把一小磁針支架起來，使能在水平面內自由旋轉。另在鉛直方向裝線圈，當電流通過線圈時，磁針即擺動，由擺動角度的大小即可測出電流強度(圖 15 — 133 ，見下頁)。

【磁擴散率】(Magnetic diffusivity)

方程式

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \eta \nabla^2 H$$

其中$\eta = (4\pi\mu\tau)^{-1}$，即爲磁擴散率。$\mu$是磁導率，$\tau$是導電率，$H$是磁場。

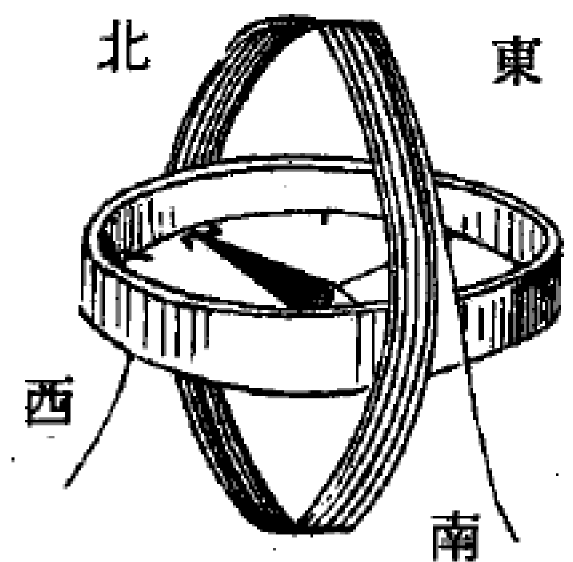


圖 15— 133
磁轉電流計

【磁雙極輻射】(Magnetic dipole radiation)

磁雙極輻射之電磁場爲

$$E_p = \frac{k^2}{4\pi}\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}\ \frac{m_0 \sin\theta\, e^{j(kr-\omega t)}}{r}$$

$$H_\theta = \frac{-k^2 m_0 \sin\theta\ e^{j(kr-\omega t)}}{4\pi r}$$

$$H_r = 0$$

【磁鏡】(Magnetic mirror)

在理論上可以包納熱離子體的磁場裝置。磁場力線在兩端呈會聚狀，很像橄欖球的表面。由於粒子的廻轉運動，粒子被限制在橫切面上。當粒子呈螺線沿場線行進時，由於場線的會聚形狀使得若干粒子會被反射回來，其餘部分則從端點逃逸出去。由於這種部分反射的效果，場線會聚的區域稱爲鏡，而鏡處的磁場強度對中心區域處的磁場強度之比定義爲鏡比 (*mirror ratio*)，鏡比愈強，反射愈多。形式最簡單的一種磁鏡裝置乃由周圍纏繞以磁場線圈的直管所組成，而磁場線圈在端點圍繞較緊密，使端點的磁場強度比中點的磁場強度強很多。由圖 15 — 134 可看出在端點的磁場線圈較緊密；圖 15 — 135 則指出磁場強度沿著直管的變化；而圖 15 — 136 則指出磁場較強處的磁力線比較密集。在端點的較強磁場乃形成磁鏡，因爲荷電粒子的行動至此處會有遲緩的傾向，同時在某些條件之下，可以把荷電粒子反射到中央的部位。此種情況下，磁鏡可作阻擋物之用，以減少荷電粒子由直管兩端逃出。

當荷電粒子沿著磁力線作螺旋形運動而進入磁場較強的磁鏡部位時，則有一推力開始作用於荷電粒子之上，使荷電粒子具有往中央部位運動的傾向。因此粒子在平行於磁力線方向的運動速率（$v_{\parallel}$）減低；同時連續的二圈螺旋形途徑之間的間隔也愈來愈小。如果在磁鏡部位的磁場很強，則沿著磁力線方向運動而來的荷電粒子在此處停止，隨後又以相反的方向離去。也就是說，粒子被反射回到磁場強度較弱的部位。所以荷電粒子由於受到連續反射而在兩端作往還的螺旋形運動，因此荷電粒子被限制在磁鏡之間。

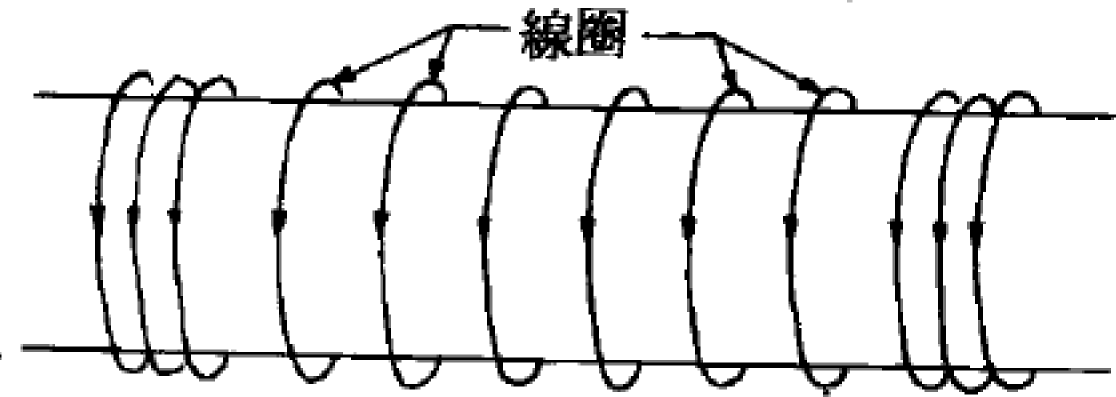


圖 15 — 134　線圈的繞法

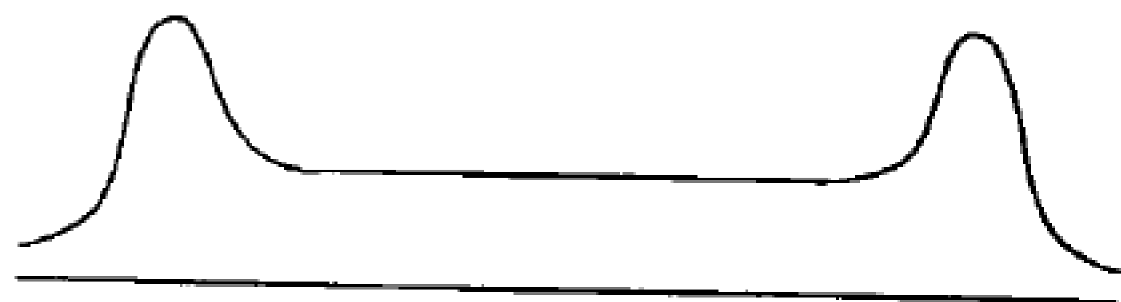

圖 15 — 135
磁場沿著管的長度之變化情形


圖 15 — 136　磁力線的形狀

電漿中並非所有的荷電粒子都會在磁鏡部位被反射。例如，荷電粒子的速度與在磁鏡之間部位的磁力線平行時，它將會沿著磁力線作直線運動而不作螺旋形運動，同時會逃過磁鏡部位。欲使荷電粒子限制在磁鏡之間，並在其間反射，此粒子必須具有一與中央部位的磁力線相垂直的適當的分速（$v_{\perp}$）。在磁鏡部位的磁場強度，與中央部位的磁場強度之比值愈大，$v_{\perp}/v$ 的值愈小，則反射的可能率增加，因此磁鏡的磁場強度，比中央部位的磁場強度強時，則被限制於磁鏡之間的荷電粒子的比例也愈大。

由圖 15 — 135 可看出，電漿粒子在兩磁峯（磁鏡部位）之間的磁谷（中央部位）中運動。當一個荷電粒子趨近右邊的磁峯時，如果有足夠往右方的速度，將會向右越過磁峯而逃離。但是若粒子的速度只能使

它到達磁峯中途的話，它將退回到磁谷。這類的粒子被限制於磁鏡之間。荷電粒子趨近磁峯的方向顯然是重要的；如果粒子運動的方向是正對著磁峯的，則此種粒子較之運動方向不正對著磁峯而速率相同的粒子，容易越過磁峯而逃離。此外，對磁谷而言，磁峯愈大，則粒子逃離也愈困難，即使那些趨近磁峯的粒子，其運動方向是正對著磁峯時，也不能例外。

通常，在磁鏡系統中的電漿並不是在容納電漿的管中造成，而是由外面注入，因此注入的粒子，具有與在中央部位的磁場相垂直的分速。如果不是如此的話，則當這些荷電粒子沿著磁力線往容器的端點趨近時，它們含有逃離的傾向。

一旦電漿被導入到磁鏡之間，電漿可藉壓縮而加熱。這可以藉由改變磁場而加以完成。其中之一種方法爲增加在中央部位的磁場強度，則電漿被壓向管軸而加熱。在此同時，在磁鏡部位的磁場強度也要增加以保持把電漿限制於磁鏡之間的特性。第二種方法係把磁鏡的磁場快速地靠緊在一起，則電漿被壓縮入一個較小的空間而加熱。藉由連續的磁場壓縮過程，可以獲得很高的溫度。

在受鏡場局限的電漿中，主要的磁氫不穩，以凹糟不穩最爲嚴重。它之發生是在有了一個擾動後，會引起一個背脊，沿著與磁力線平行的電漿，而使其長度延伸，宛如柱上的凹糟，所以得凹糟不穩之名。電漿的溫度和密度增加時，發生了此種凹糟不穩和其它形式的不穩。現在已有幾種穩定的方法可資利用，其中最重要的一種方法係將多極磁場置於原來的鏡場之上，此可藉由置放幾個與容器的中央軸平行的導體，同時使交替的導體通以相反方向的電流而獲得。這些導體被稱爲愛爾非棒（*Ioffe tube*）。

圖 15－137 爲愛爾非棒連同一個磁鏡系統的安置。而圖 15－138則爲所產生磁場的截面。沿著容器軸的磁場強度最小，接近容器壁

的磁場強度逐漸增加。因此，它以最小一B組態聞名，符號B通常被用來代表磁場的強度。最小一B系統即爲尖端幾何的一例，在理論上尖端幾何可提供穩定的電漿局限。

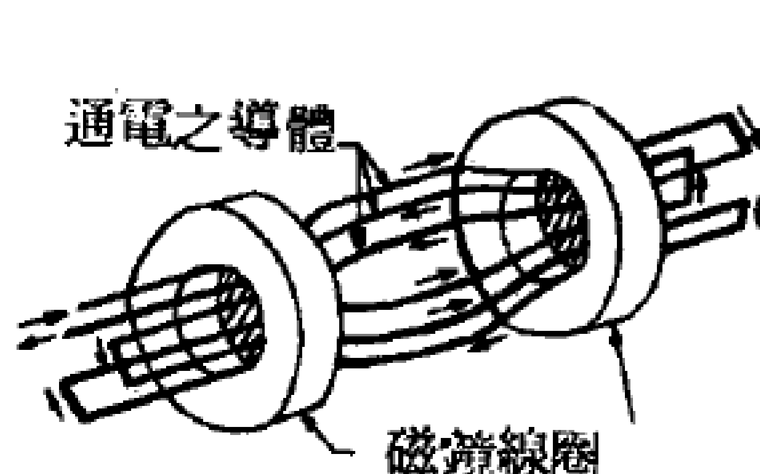
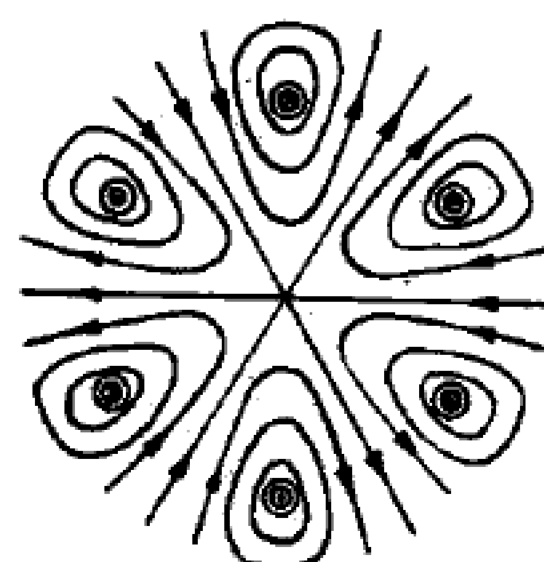


圖 15 — 137
多極磁場附加於磁鏡系統上之排列法


圖 15 — 138
組合磁場的截面

【磁羅盤】(Magnetic compass)

完全由地球磁場供應力而不需要外加機械設備之羅盤爲磁羅盤。其指針之指向恆向地球磁力線所聚集之磁極。

【磁譜儀】(Magnetic spectrograph)

X射線能階可由因X射線之作用而逸出的光電子之研究決定之。當原子內殼上一個電子被能量爲$h\nu$之X射線光量子擊出時，由愛因斯坦(*Einstein*)光電效應公式，此光電子的動能爲

$$E_k = h\nu - P_1 - P_2$$

P_2 爲金屬之工作函數，即是使電子自金屬表面逸出所需的能量，其大小爲數電子伏特，此值遠比X射線光量子所具有的能量（數萬伏特或爲數十萬伏特）爲小，故P_2 可略而不計。P_1 爲使電子脫離原子所需的能量，即是殼上電子的游離能 ε ，就重元素之最內側電子言，此P_1的大小可以和X射線光量子所具有的能量相比。

若忽視P_2 ，則上式可寫作

$$E_k = h\nu - P_1 \qquad (1)$$

此處之P_1 亦可稱之爲X射線能階。由此可知，如能把光電子的動能正確地量出，由於入射X射線之頻率已知，利用（ 1)式則能求出X射線的能階。

爲量度被X射線光量子擊出去的電子所具有的動能（或速度），魯

賓遜（*H . R . Robinson*）設計了一種裝置，圖 15 — 139 是此種裝置的簡圖，通稱此種裝置為磁譜儀。常將所欲研究的元素作成薄膜，置在圖中C板上。單色X射線，通過窗戶W進入高度眞空的匣中時，可撞擊放在C上的薄膜。整個裝置係放在一垂直圖面的均勻磁場中。故自C逸出的光電子即形成圓形軌跡，僅有通過狹縫S者可落在照相底片P上。速度相同者均落在照相底片上同一處，此底片經沖洗後可現出狹縫狀的像，通稱之為磁譜（*magnetic spectrum*）。所有速度相同者，其半徑ρ為

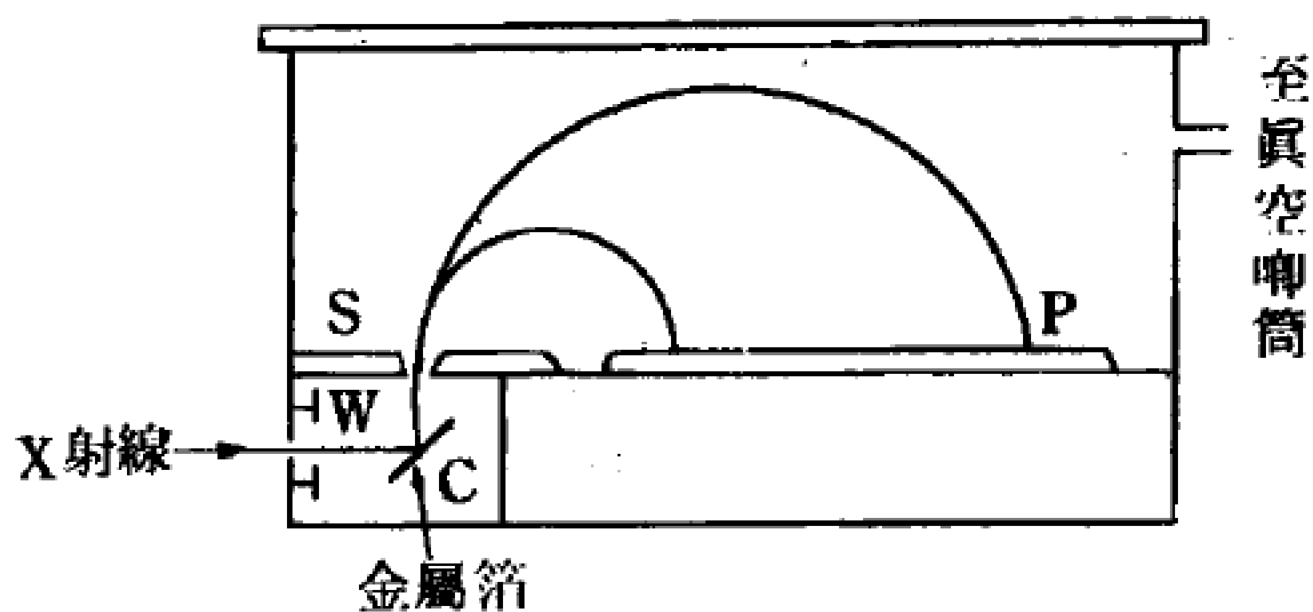


圖 15 — 139

$$\rho = \frac{mc}{He}\,v \qquad (2)$$

由此裝置之幾何圖形與攝得的狹縫狀譜，可以決定電子軌道半徑ρ。將求出的ρ，以及磁場強度H代入（2）式，即可計算對應某一特定狹縫狀像的電子速度，進而可計算其動能E_k。由此求出的E_k代入（1）式時，由於入射單色X射線的頻率已知，即可決定X射線能階。

【磁鐵】（Magnet）

即磁體，任何不藉外加電流，自行產生磁場以吸引鐵（*Fe*）、鈷（*Co*）、鎳（*Ni*）等物質的物體。有天然磁和人造磁兩種。

磁鐵有很多型式（圖 15 — 140 所示），如條形、環形、馬蹄形等。磁鐵吸引力集中的區域有二，分別位於其末端，這二區域稱為磁極。當一磁鐵的某極靠近另一磁鐵的一極時，會發生吸引或排斥的現象。如果二相

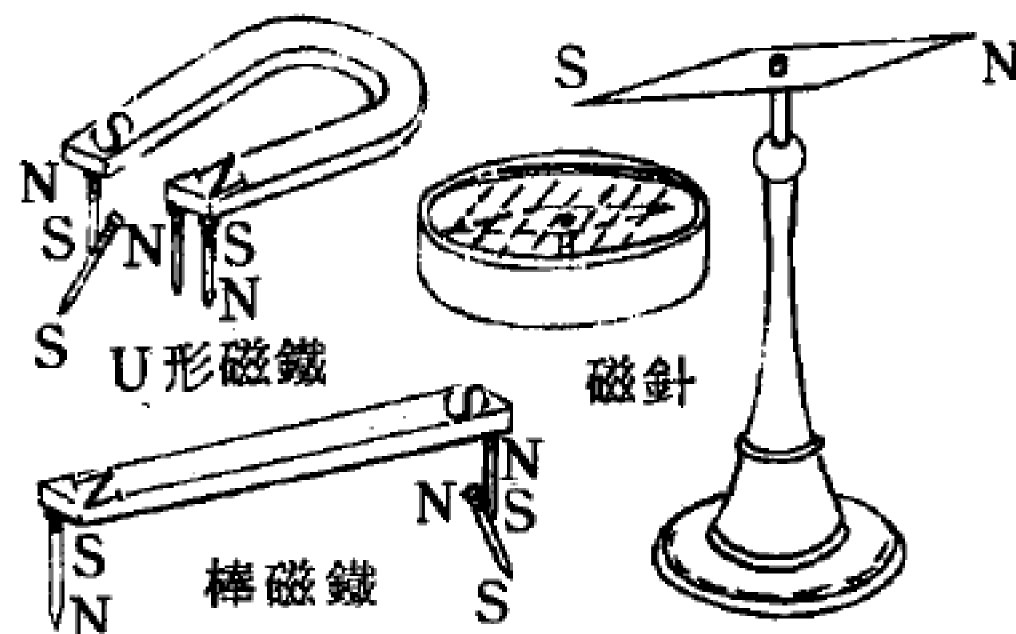


圖 15 — 140　磁鐵的種類

似的條形磁鐵首尾並排緊靠，也許會彼此牢固地吸住或彼此推斥而分離，當掉轉某一磁鐵的首尾方向後，則情形相反。因此這證明每一磁鐵均有兩種不同的磁極，且同類磁極相推斥，異類磁極相吸引。

磁鐵四周有磁場圍繞，其磁力線由一極至另一極，磁力線的密度(表示磁強)在二極區最高。其磁力線的分佈與方向可由小磁針繪出。

將磁鐵在重心處以細繩懸於空中並呈水平，則磁鐵的平衡方向永遠指向地球南北極，由此可知地球本身是個大磁體。磁鐵指向地球北方的磁極稱為北極，向南方的稱為南極。我們定磁力線由北極至南極。

磁鐵所以具有磁性是因內部原子中的電子自旋所生磁矩行互換耦合的結果。

適於永久磁鐵的材料必須具有高矯頑磁性。過去人們以硬鋼為材料，現在則用性質更佳的鋁鎳鈷(*alnico*)。

【磁鐵之保存法】(Preservating of magnet)

磁鐵受地球磁鐵或其他磁鐵之反磁感應作用，磁性會逐漸消失。如為棒磁鐵或馬蹄形磁鐵，可用一軟鐵片裝置如圖 15－141所示。取兩個棒磁鐵，令南極與北極並列置之，兩極用一軟鐵片連絡。因磁感應，軟鐵片被磁化，此鐵片之磁，又感應原來之磁鐵，能使磁保持永久而不致消失。

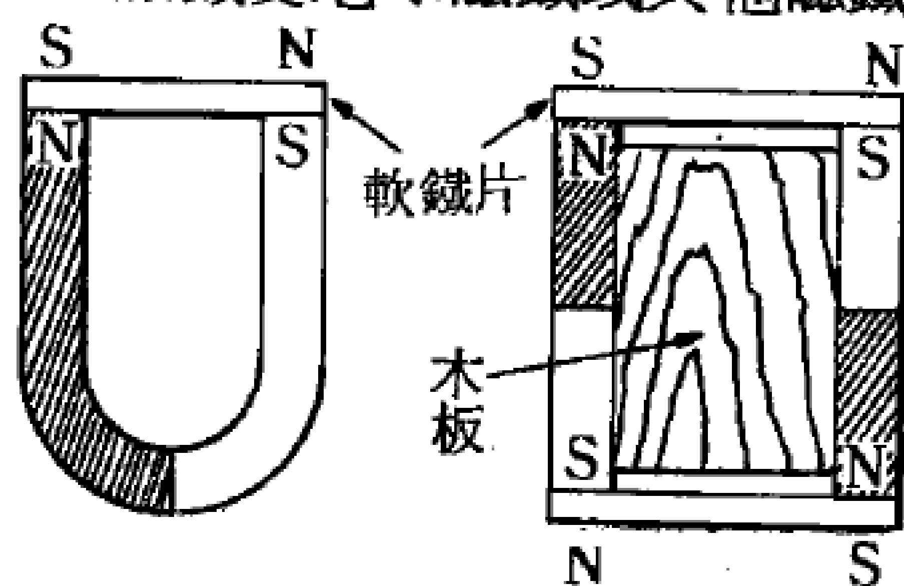
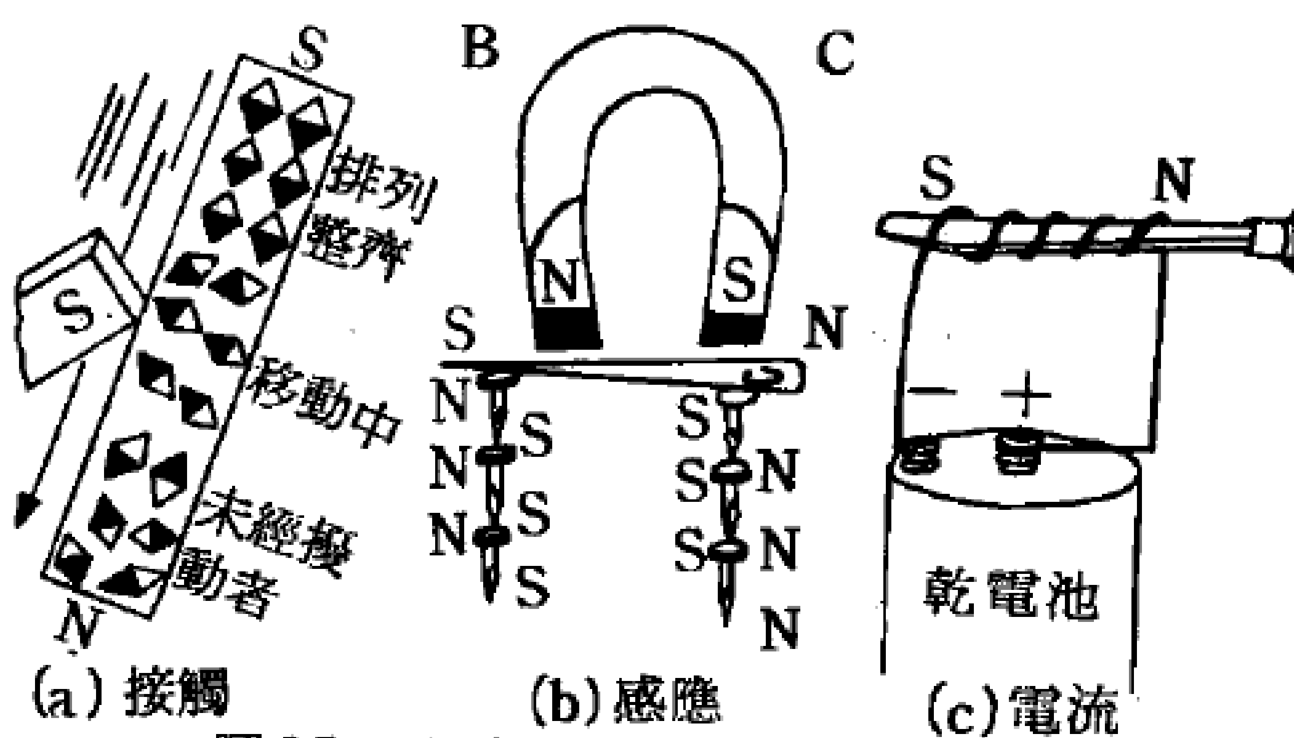


圖15－141　磁鐵的保存法

【磁鐵之製作法】(Method of magnetization)

磁鐵之製作方法有下列數種：

1. 直接接觸——如圖15－142(*a*)，取鋼鐵棒，



(a)接觸　(b)感應　(c)電流
圖15－142　三種製造磁鐵的方法

以強磁鐵之極，從其一端向他端摩擦數回，則棒成磁鐵，而前端成與所用磁鐵極相異之極，後端成同名之極。或將鋼棒水平置之，手持二磁鐵，令其異名之極相對，從棒之中央，以二極各向左右摩擦，數回後，鋼棒成強磁鐵，而各端成與磁極同名之極摩擦時，輕敲幾下將有助於磁化。

2.磁感應——將磁性物質置於磁場中，即受感應作用而磁化。如圖 15－142 (b)靠近磁鐵的一端變成和磁鐵磁極相反的磁極。

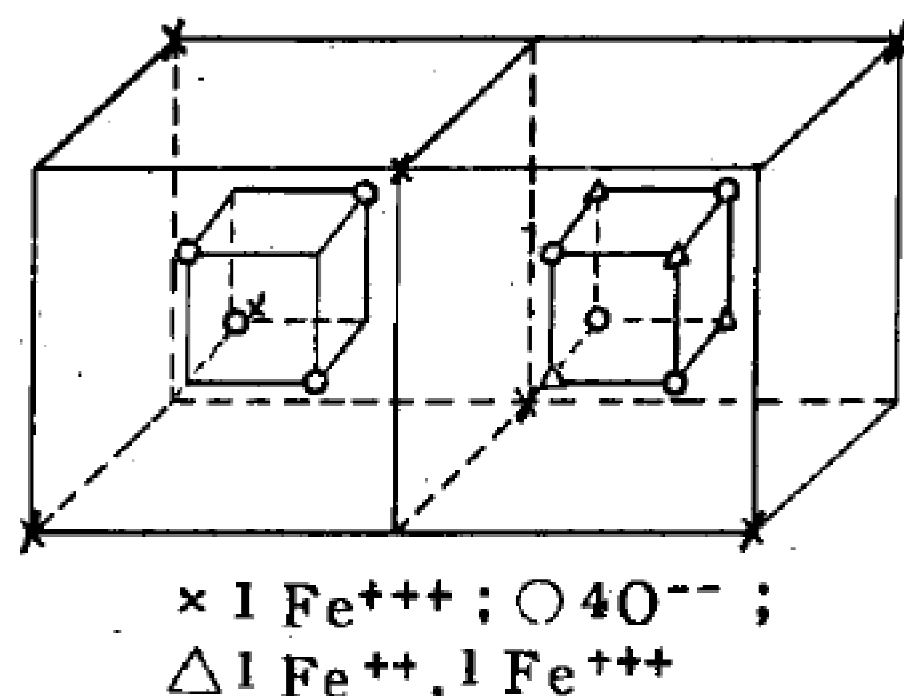
3.利用電流——通以直流電的線圈兩端，具有一定的磁極，將鋼棒放在線圈中，使強大的直流電瞬時通過線圈 2～3 次，則鋼鐵受磁極的影響化為強磁鐵。

【磁鐵合金】(Coupernik)

導磁率甚為穩定之導磁體。

【磁鐵礦】(Magnetite)

磁鐵礦的化學式為 $FeO \cdot Fe_2O_3$，是構成磁石的主要成分，具鐵淦氧磁性，有反尖晶石結構（圖 15－143 ）。



× 1 Fe^{+++}；○ 4O^{--}；
△ 1 Fe^{++}, 1 Fe^{+++}

圖 15－143 $FeO \cdot Fe_2O_3$ 結構

在圖中位於×處的 Fe^{+++} 離子其自旋互相平行，位於△處的 Fe^{+++} 離子其自旋亦互相平行。位於×和△處的 Fe^{+++} 的自旋相反。整個 $FeO \cdot Fe_2O_3$ 所呈現的磁矩都是由 Fe^{++} 離子所貢獻的。

【磁體】(Magnet)

即磁鐵具有磁性的物體，叫做磁體。有天然磁和人造磁兩種。

參閱“磁鐵(*Magnet*)”條。

【節】(Node)

(一)速率單位，1 節 = 1 浬／小時

= 1.688 呎／秒

= 1.852 仟米／小時

= 0.5144 米／秒

= 1.151 哩／小時

= 51.44 厘米／秒

（二）波動前進時，固定不動的點稱爲節，又叫波節。

【節拍】（ Beats ）

二個頻率相近但不相同的音叉在附近的地方同時振動，則聽者會感到聲音強度的變動，時而增強時而減弱，係由於振幅改變而引起，稱爲節拍。

【節面】（ Nodal surface ）

在三度空間，由兩個有一致性的點波源所產生的波動干涉，其節點呈連續性分佈，形成許多雙曲面，稱之爲節面。

【節電位差法】（ Node - voltage method ）

參閱“網絡（ *Network* ）”條。

【節線】（ Nodal line ）

波產生干涉現象時，連接各不波動之點所成之連線，稱爲節線。節線形狀如圖 15 — 144 所示，愈近波源節線愈爲彎曲，遠離波源處節線可視爲直線。兩波源同相位時，節線對中心線爲對稱。

節線之直線部分延長可通過兩點波源連線之中點。波長增加，節線數目減少。

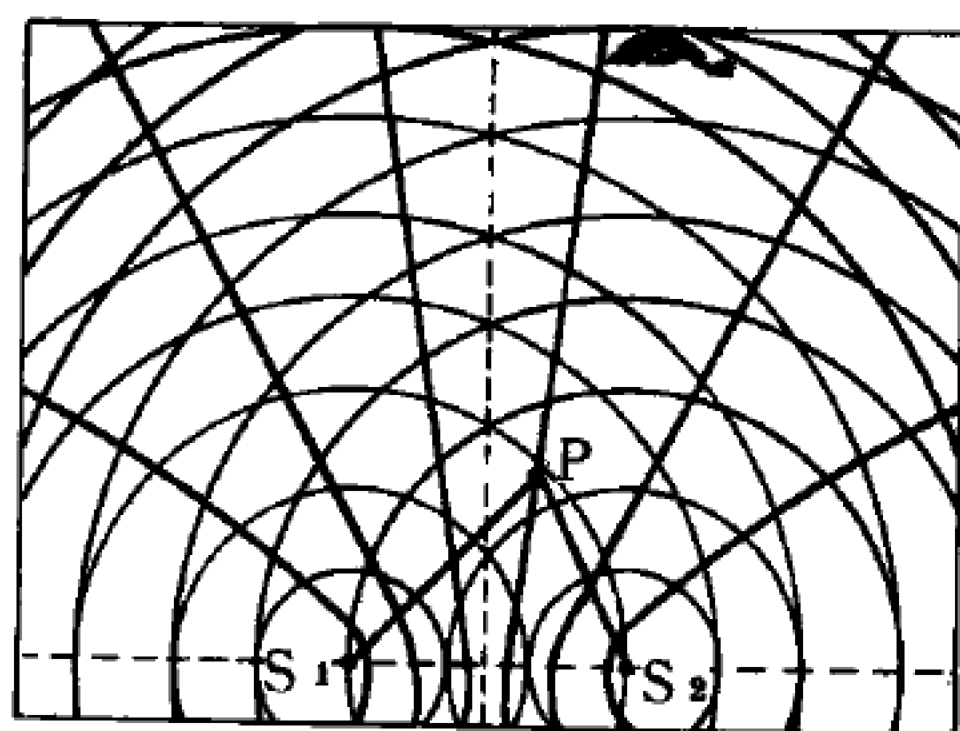


圖 15 — 144

【緯度】（ Latitude ）

是表示地球上南北方向的位置，也是在某地點 P 上的鉛直線和赤道面所形成的角度。緯度以赤道做 0°，向北一直到北緯 90°（北極）；向南一直到南緯 90°（南極）。連接地球上緯度相等的地點所成的線，叫做緯線，而且它和赤道平行。緯度 1° 的距離，約有 111 km 。緯度

越高，氣溫越低，年溫差越大。

圖 15－145 表示觀測員測算緯度的方法，同時說明緯度用角度計算的理由。直對觀測員頭頂的天空一點，稱為天頂。連接天頂和觀測員的線，可直達地球中心。這圖表示在午時的太陽，直對著赤道上的時期。由觀測員看到太陽的視線和陽光射到赤道的線平行。他用一個六分儀，可測得天頂線和太陽線兩線間所成的角度，例如45°。但我們知道，地球中心到天頂的線，同經過赤道到太陽的線所成的角度，同上面的角度相同，也是45°。所以此人所在的緯度就是45°。

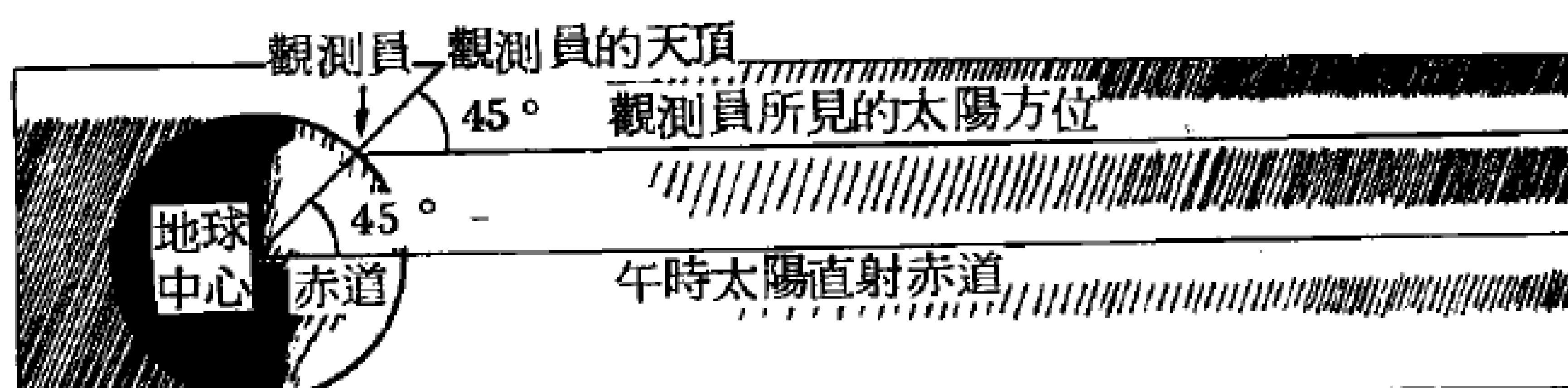


圖 15— 145

一個人在地面上同緯度的另一個地方，若在正午當太陽在其最高點的時候測量這個角，他必能求得同一的角度，在同緯的任何位置上觀測都是一樣。若把所有這樣測量得同角度的地點連接起來，就形成一圓圈圍著地球，這就是黃緯圈中的一個。

在午時的太陽並不是永久的直對著赤道上，但依照一年中時期的不同，向赤道之南或北移動。最大的限度，向北達北回歸線（*tropic of cancer*），在赤道以北二十三度半；向南達南回歸線（*tropic of capricorn*），赤道以南二十三度半。

【緯度變移】（Variation of latitude）

緯度因為地軸變動即極的移動之結果，漸有變動，這叫做緯度變移。1898年起全球上曾選了北緯三十九度八分的地方，在美義日三國設三共同緯度觀測所，以同樣儀器，同一天體為目標，按同一方式而觀測；結果知道緯度確因地軸的變動而變移，圖 15－146 所示，最近八年間緯度變移的結果，圖的中心係假想的平均北極，$+x$ 為格林威治方向

，－x 爲經度 180° 的方向，＋y 爲西經 90° 的方向。

緯度變移是由兩種週期合成，一個是 427 日，另一個是 365 日；兩種週期相合的時候變動最大，相反時候變動最小，約以七年的週期而循環。

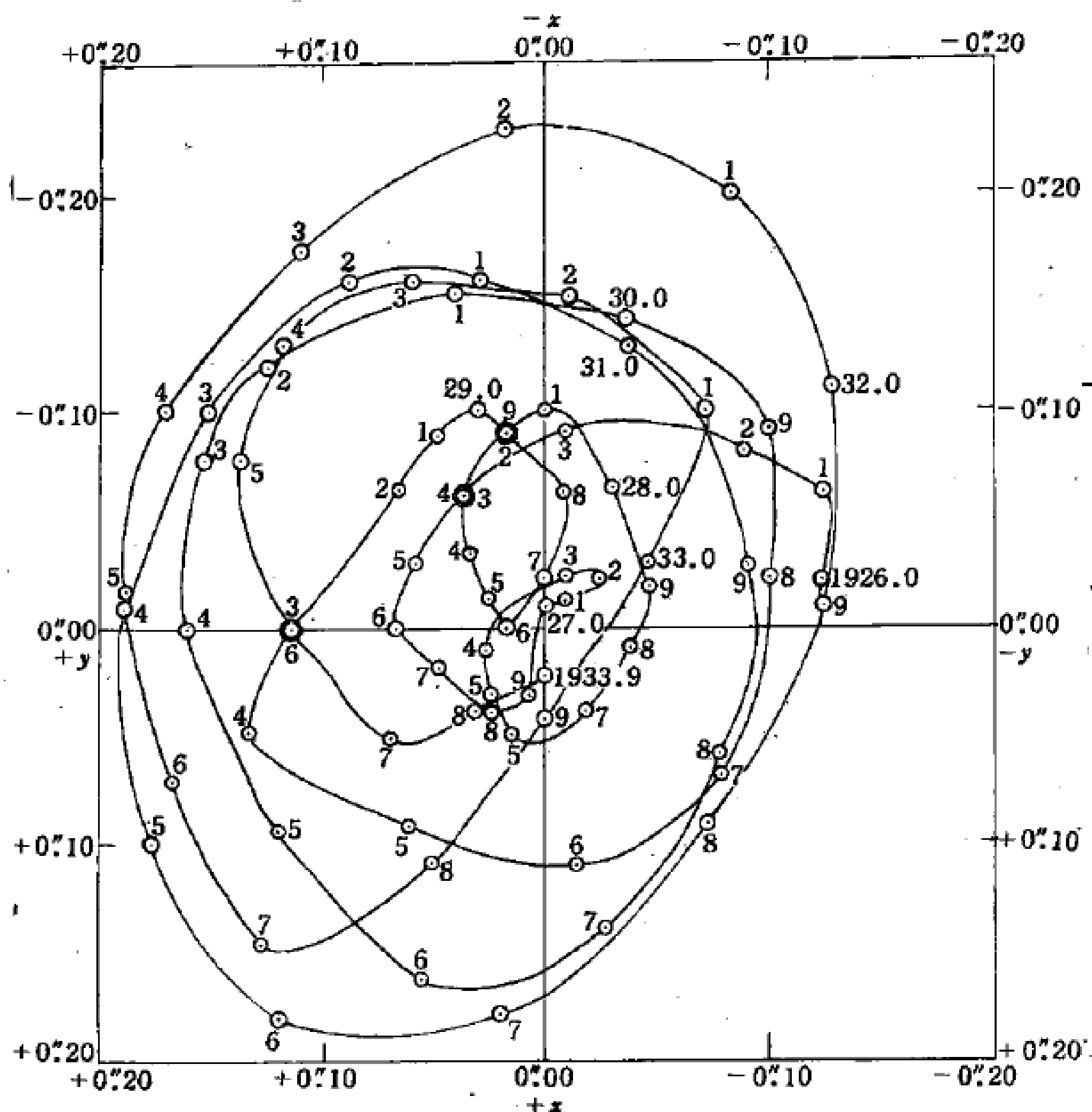


圖 15－146 最近八年間北極的移動

設某地的平均緯度爲 φ_0，經度爲 λ（西經爲＋），則任意時刻的緯度 φ 爲

$$\varphi = \varphi_0 + x\cos\lambda + y\sin\lambda + z$$

這 z 項是以一年爲週期而增減，它的原因還沒有確定。

【線光譜】(Line spectrum)

各種物質汽化後，在適當情況下所產生之光譜爲不連續之明亮線條，是爲線光譜。此種光譜中之譜線，各有其一定之波長，且各物質無一相同者。物理學中，通常以本生火焰所產生之光譜爲各金屬元素之標幟線光譜（*characteristic line spectrum*）。

【線系極限連續光譜】(Series limit continuous spectrum)

簡單原子的光譜線形成分佈漸密的線系，線系的極限則爲一連續光譜區域。連續之吸收光譜爲入射光將原子中電子游離而生者，因游離電

子的能量是連續者，故其光譜亦為連續的。連續之放射光譜則是離子捕獲自由電子生成的。

依照量子力學，粒子若被位能限制於空間的有限部分運動，則其能量為不連續的能階；若其運動範圍不受限制，則其能階為連續型式。光譜躍遷中，初態或終態若有連續的能階，則必產生連續光譜。例如原子的電子游離，分子的分解，粒子的散射等均可發生連續光譜。

【線阻】(Wire wound resistor)

利用高阻值的合金線繞在絕緣體外而成之電阻器。

【線性電路】(Linear circuit)

只由線性導體所組成的電路。所以歐姆定律對於整個電路都是正確的，就是說，電路內的電流強度是正比於外面所加的電勢。換句話說，線性電路的電阻是恆定的，不隨電路中作用電勢的大小而變化。

【線性導體】(Linear conductor)

服從歐姆定律的導體，即其中電流與外加電壓成正比的導體。換句話說，導體的電阻是恆定的，不隨所連接的電壓而變化。正比例是二量之間的所謂線性依從關係的情況之一，因此服從歐姆定律的導體便叫做線性導體。金屬導體和其他許多固體導體（當導體內電流變化所引起的溫度變化還可忽略時）以及電解質等都是線性導體。實際上常常會用到線性導體，然而在許多場合裏，起主要作用的還是非直線性導體，即不服從歐姆定律的導體。

【線狀分子】(Linear molecule)

詳閱“分子之振動能（*Vibrational energy of molecule*）”條。

“分子轉動能（*Rotational energy of molecule*）”條。

【線狀電荷的電場】(Electric field of line of charge)

一根帶有電荷的直線，其特性可以用單位長度所攜的電荷 λ (

e.s.u./cm）來表示。一根無限長的均匀的線狀電荷所產生的電場，可以用二種方法來解：第一種方法是由庫倫定律直接積分，第二種方法爲利用高斯定律。

例如要求 P 點的電場（如圖 15－147），我們將這根線分成許多長度單元（*length element*）dx，然後將每一單元上的電荷在 P 點所產生的電場加起來（向量和）。在每一單元上的電荷是 $dq = \lambda dx$。我們將 X 軸取在沿線電荷的方向，而將 Y 軸取在通過 P 點的方向，也就是說 P 點的坐標爲（$0, r, 0$）。利用對稱的特性（由於此線電荷是無限伸展的），我們知道 P 點的電場一定是沿著 Y 軸的方向，就是說 E_x 及 E_z 都等於零。電荷 dq 在 P 點所產生的電場在沿 Y 軸方向的分量是

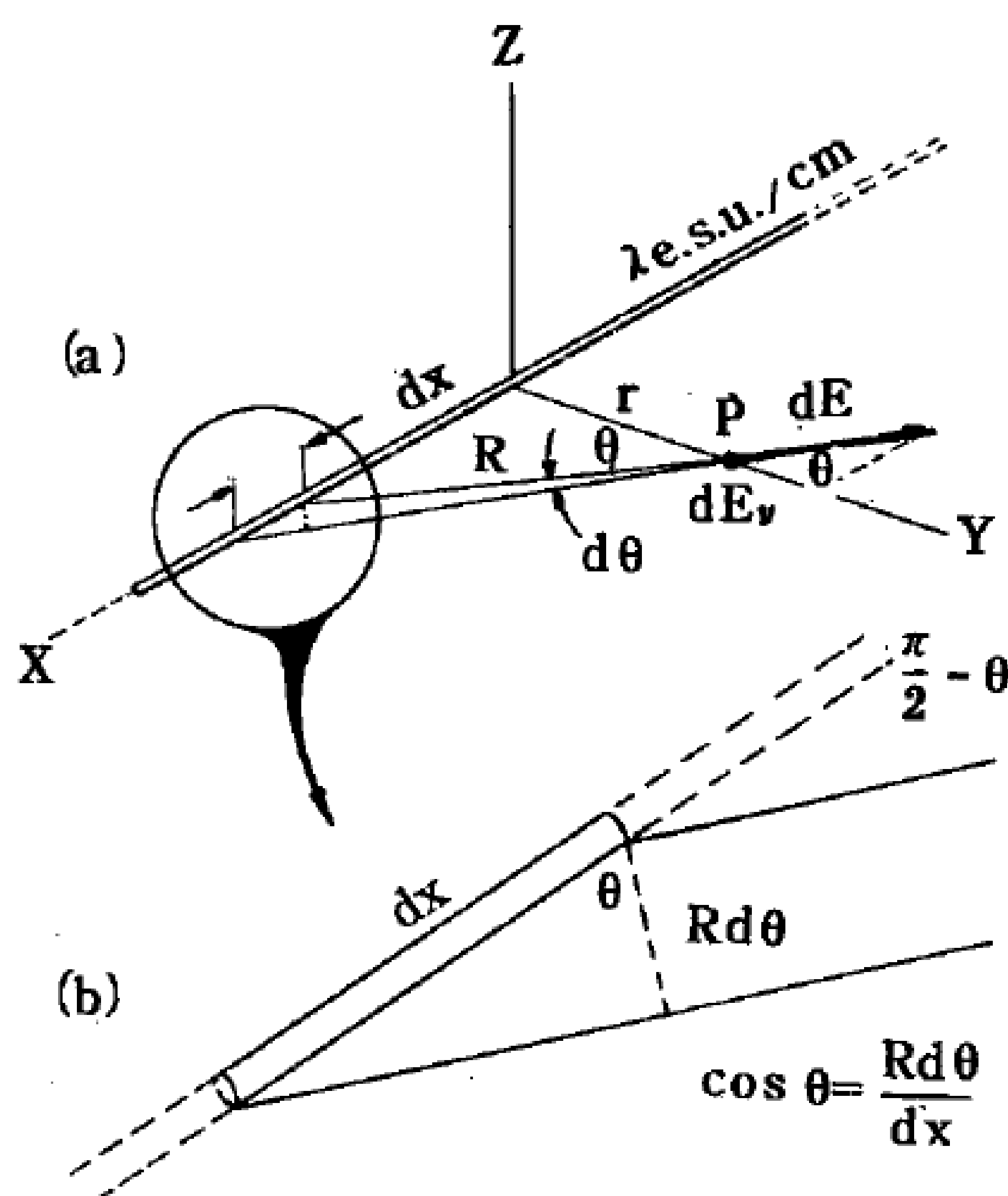


圖 15－147
將庫倫定律積分以求線電荷的電場

$$dE_y = \frac{dq}{R^2}\cos\theta = \frac{\lambda dx}{R^2}\cos\theta$$

θ 是 Y 軸與 dq 所產生的 $\vec{E}$ 向量場間的夾角。整根線電荷在 P 處所產生的 E_y 爲

$$E_y = \int dE_y = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\lambda \cos\theta}{R^2}\, dx \qquad (1)$$

至於 X 方向的電場分量，則由於對稱性的關係而互相消去。用 θ 當作積分變數較爲方便。由於 $R = \dfrac{r}{\cos\theta}$ 以及 $x = r\tan\theta$，$dx = r\sec^2\theta\, d\theta$

，故（ 1 ）式變為

$$E_y = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{\lambda \cos\theta}{r}\, d\theta = \frac{2\lambda}{r} \qquad (2)$$

由此可見，無限長的均勻線狀電荷分佈所產生的電場與離線距離的倒數成正比。若線電荷為正，則電場方向朝外。若線電荷為負，則電場方向朝內。

利用高斯定律也可以得到同樣的結果。我們可以沿著線電荷的方向作一假想的圓柱形的高斯面，長為 L，半徑為 r，如圖 15 － 148 所示，由於對稱性的緣故，我們知道電場一定是沿著徑向的，也即垂直於線電荷的方向的，故通過圓柱二端的電通量必為零。而通過圓柱側面的 $\vec{E}$ 通量則為面積 $2\pi rL$ 乘以那面上的電場 E_r。由於圓柱面內所含的電荷為 L，故由高斯定律可知

$$2\pi r \cdot L E_r = 4\pi L \lambda$$

或

$$E_r = \frac{2\lambda}{r}$$

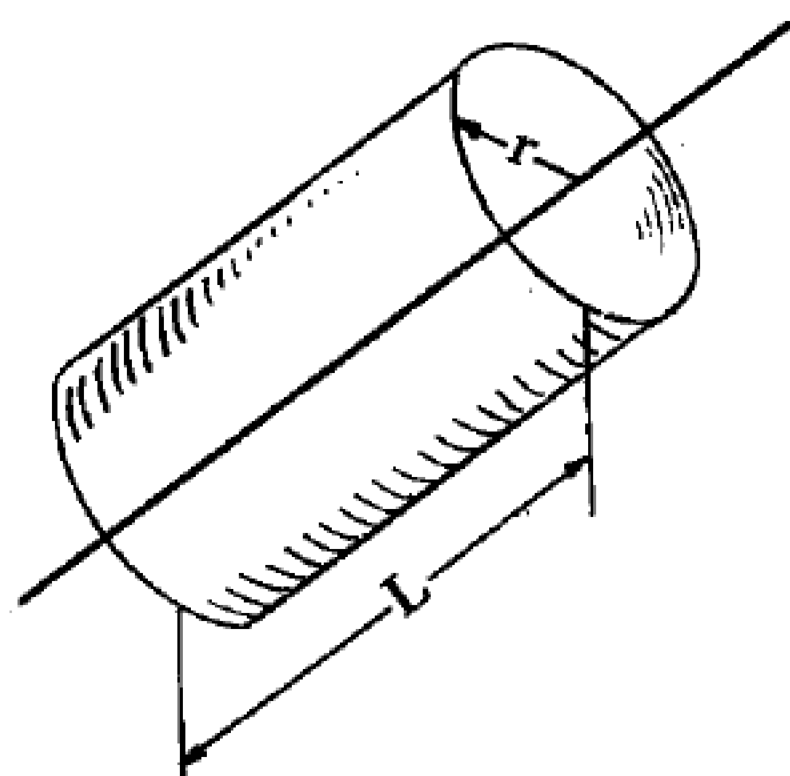


圖 15 — 148
用高斯定律去求線電荷的電場

此結果與（ 2 ）式相符。

【線型不相關】（ Linearly independent ）

有 N 個向量 $a_1, \cdots, a_N$，如果我們不能找到一組 $n_1, \cdots\cdots, n_N$（不都是零），使 $\sum_{p=1}^{N} n_p a_p = 0$ 成立，則 $a_1, \cdots\cdots, a_N$ 為線型不相關。

【線型加速器】（ Linear accelerator ）

由柯克勞夫、沃耳吞（ *Cockcroft - Walton* ）裝置及范得格拉夫（*Van de Graaff*）發電機產生的進擊質點，均由直接受高電壓之加速作用而為高能。此項高能質點之製造，亦可以不用高電壓，而以較低的電壓給離子重覆加速。如圖 15 － 149 ，將若干個圓筒型電極順著一

高度眞空管之軸線排列在一直線上，並以導線將單號的圓筒型電極全連於高頻率發電機之一端鈕，再將雙號的圓筒型電極全連在高頻率發電機之另一端鈕時，若有一離子進入此高度眞空管中，當它抵達電極1與電極2間之第一間隙時，此離子即被二極間的電位差加速。在第一次加速後，離子即沿著管軸自第一間隙穿行至第二間隙。離子在第二圓筒型電極行進時，因此區域無電場，而以一定之速度向前飛行。在此段時間，交流電將改變其極性，如果圓筒之長度選擇適當，離子抵達第二間隙之時間可恰與交流電位差改變極性之時間相符，如是即復得一次加速，此後再經其他間隙之如此加速，此離子即變成高能質點。此項方法首由史洛安（*Sloan*）與勞倫斯(*Lawrence*)於1931年提出，並應用此式加速器，使汞離子爲高速質點。通稱此項加速器爲線型加速器。

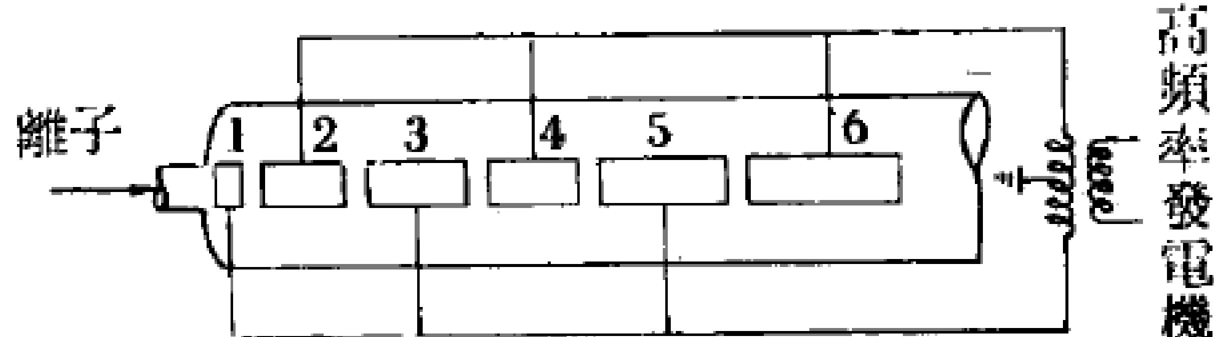


圖 15 — 149

此加速器中之圓筒的長度應如何選擇，可由下列之簡單計算得知之。茲令離子進入電極1時它所具的能量爲 eV_o，高頻率電壓爲 V，於是在電極1與電極2間被加速離子的能量爲 $e(V_o+V)$，此時離子之速度 v_2 可寫作：

$$v_2=\sqrt{\frac{2e(V_o+V)}{M}}$$

M爲離子的質量。設高頻率交流電之週期爲T，欲使離子在電極2與電極3復被加速，則第二圓筒長度 l_2 顯然得滿足：

$$\frac{T}{2}=\frac{l_2}{v_2}=l_2\left\{\frac{M}{2e(V_o+V)}\right\}^{1/2}$$

即

$$l_2=T\left\{\frac{e(V_o+V)}{2M}\right\}^{1/2}$$

由此可以推出第 i 號圓筒型電極之長度 l_i 爲

$$l_i = T \left\{ \frac{e \left[V + (i-1) V \right]}{2M} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

在核蛻變實驗中宜以H^+及D^+ 離子作進擊離子。此項加速裝置若採用此類離子，由所算出的結果知，此加速器中之電極長度將爲數百米，於是在交流電之頻率未有增加之情形，此項加速則不可能實現。在以前，強力的高頻率發生器，至多也不過發生 10MHz 程度之高週波，因而未能以此裝置給在核實驗中的H^+及D^+ 加速。因此而導致廻旋加速器之發明。後來，由於利用在第二次世界大戰期間爲雷達所發展之微波技術，線加速器復爲實驗家提起，今已成爲核物理實驗中一強力之工具。

【線型吸收係數】(Linear absorption coefficient)

把輻射源置於距準直儀 (*collimator*) 一段適當的距離處。如此經準直儀的細小準直孔射出的輻射線，既細又窄，便是窄射柱。然後，再用屏蔽擋住窄射柱的去路，以偵檢儀器偵檢散射出來的主要射柱。這樣便可測知屏蔽厚度與輻射衰減的關係 (如圖 15 — 150) 。整個衰減過程是指數函數的，其數學式爲：

$$I = I_0 \, e^{-\mu x}$$

式中I爲從屏蔽物質射出的輻射柱的強度 (或通量) ，單位爲光子／厘米^2 -秒 。

I_0 爲入射柱的強度 (或通量) 。

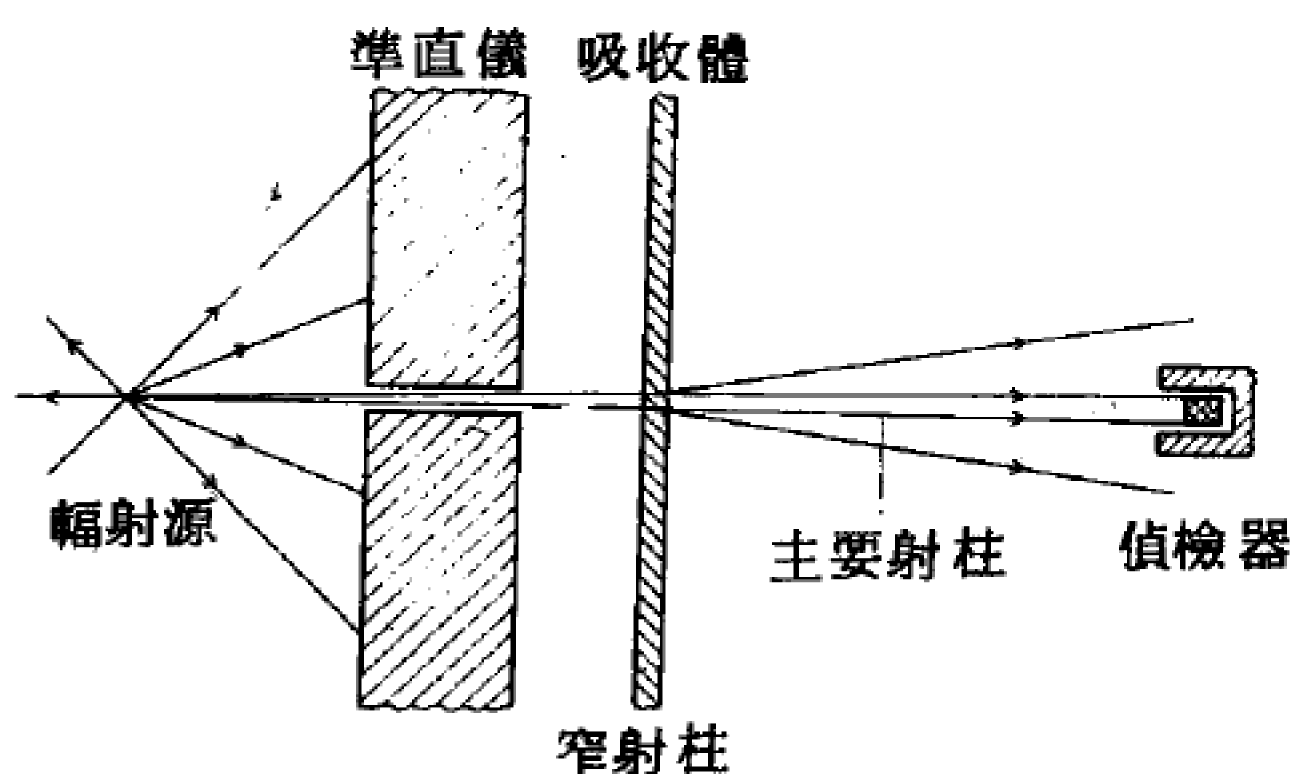


圖 15 — 150

μ 爲以厚度 1 厘米爲基準的線型吸收係數。

X爲吸收體 (或屏蔽物質) 的厚度，單位爲厘米。

【線型相關】(Linearly dependent)

在一個平面上(二維空間內)，如果我們有N個向量a_1, ……， a_N

只需$N>2$，我們一定可以找出一些純量n_1，……，n_N（不一定單一地），使

$$\sum_{p=1}^{N} n_p a_p = 0$$

在三維空間內，同樣的性質也可成立，只是需要$N>3$。如果向量a_1，……，a_N適合上式，則我們稱它們爲線型相關。

【線型重疊原理】（Principle of linear superposition）

當波動進行時，介質上每一點的位移$\Psi(z,t)$所需服從的變化爲

$$\frac{\partial^2\Psi(z,t)}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2\Psi(z,t)}{\partial z^2}$$

假設當波動A行進時，其波動函數爲$\Psi_1(z,t)$，而當波動B行進時，其波動函數爲$\Psi_2(z,t)$，故

$$\frac{\partial^2\Psi_1(z,t)}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2\Psi_1(z,t)}{\partial z^2} \qquad (1)$$

$$\frac{\partial^2\Psi_2(z,t)}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2\Psi_2(z,t)}{\partial z^2} \qquad (2)$$

若A，B兩波動同時通過介質時，則必有一綜合波動產生。設在此情形下波動函數爲$\Psi(z,t)$，故亦須合乎波動方程式

$$\frac{\partial^2\Psi(z,t)}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2\Psi(z,t)}{\partial z^2} \qquad (3)$$

很顯然地，此綜合波動必與波動A及B有關係，即$\Psi(z,t)$必與$\Psi_1(z,t)$及$\Psi_2(z,t)$有關係，而此關係必定不能違反波動方程式。將（1）式與（2）式的兩邊各相加，即得

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2}\left[\Psi_1(z,t)+\Psi_2(z,t)\right] = v^2\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left[\Psi_1(z,t)+\Psi_2(z,t)\right] \qquad (4)$$

比較（3）式與（4）式，我們得知，若令

$$\Psi(z,t)=\Psi_1(z,t)+\Psi_2(z,t)$$

則不違反（3）式。故上式爲一可接受的關係式，亦即爲波動方程式之自然的結論。上式稱爲線型重疊原理。由此我們可得一較廣泛的原理，當有 n 個波動 $\Psi_1(z,t)$，Ψ_2，…Ψ_n 同時通過介質時，其綜合波動爲

$$\Psi=\sum_n \Psi_n$$

【線型組合】（Linear combination）

在 N 維空間內，如有 N 個線型不相關的向量 a_1，……，a_N，則在這空間內的任何其他的向量 b 都可以被寫成爲

$$b=\sum_{p=1}^{N} m_p a_p$$

m_1，……，m_N 爲純量。如上式所示，我們說 b 爲 a_1，……，a_N的線型組合。

【線型電四極】（Linear electric quadrupole）

如圖 15－151 之電荷分佈，係由兩個電雙極組合而成，這一系統之總電荷爲零。由 $\vec{P}=\sum_i q_i \vec{r_i}$

$$\vec{P}=(+q)(a\vec{k})-2q(0)+q(-a\vec{k})=0$$

即電偶極矩亦爲零。但是電場並不到處都等於零。在 P 點的電位爲

$$\phi=\frac{q}{r_1}-\frac{2q}{r}+\frac{q}{r_2}=q\left(\frac{1}{r_1}-\frac{2}{r}+\frac{1}{r_2}\right)$$

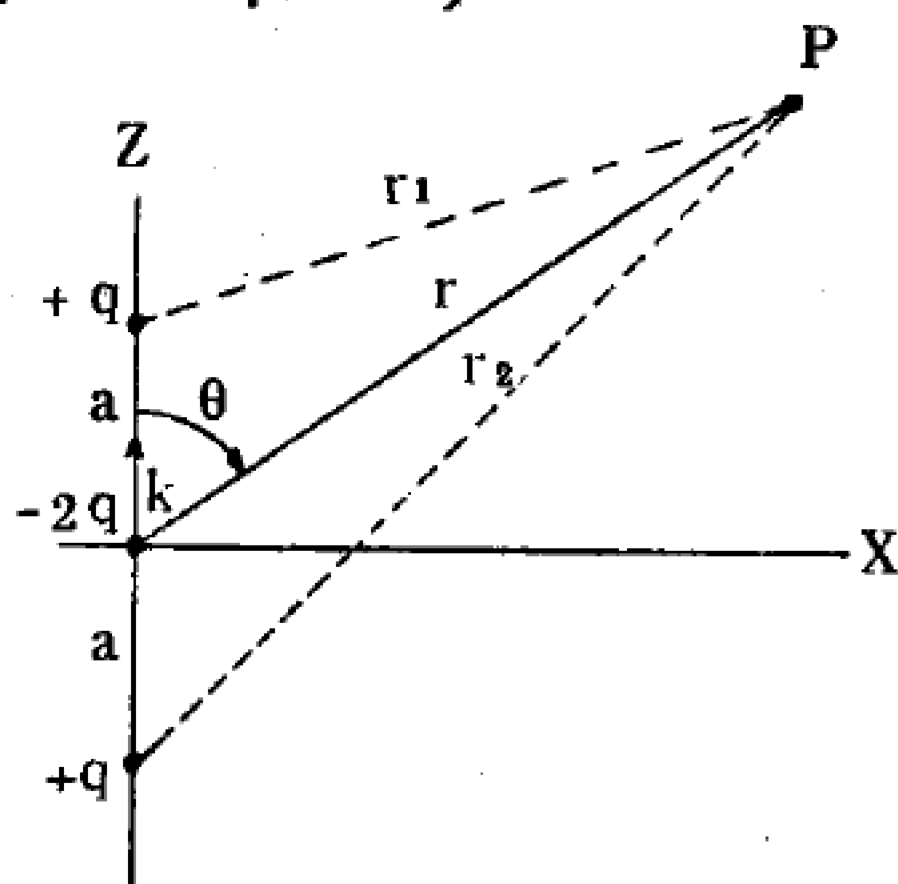


圖 15－151

由圖可知

$$r_1=(r^2-2ar\cos\theta+a^2)^{\frac{1}{2}}$$

或

$$\frac{1}{r_1}=\frac{1}{r}\left(1-\frac{2a\cos\theta}{r}+\frac{a^2}{r^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

當 r 比 a 大很多時，上式可用二項式定理展開成

$$\frac{1}{r_1}=\frac{1}{r}\left[1-\frac{1}{2}\left(-\frac{2a\cos\theta}{r}+\frac{a^2}{r^2}\right)+\frac{3}{8}\left(-\frac{2a\cos\theta}{r}+\frac{a^2}{r^2}\right)^2+\cdots\cdots\right]$$

若上式只保留到 $\frac{a^2}{r^3}$ 項，則可被寫成

$$\frac{1}{r_1}\simeq\frac{1}{r}+\frac{a\cos\theta}{r^2}+\frac{a^2}{2r^3}\left(3\cos^2\theta-1\right)$$

同理，$\frac{1}{r_2}=\left(r^2+2ar\cos\theta+a^2\right)^{-\frac{1}{2}}$，亦可被寫成

$$\frac{1}{r_2}\simeq\frac{1}{r}-\frac{a\cos\theta}{r^2}+\frac{a^2}{2r^3}\left(3\cos^2\theta-1\right)$$

因此遠離電荷分佈區域之 P 點的電位為

$$\phi=\frac{qa^2\left(3\cos^2\theta-1\right)}{r^3}=\frac{2qa^2\left(3\cos^2\theta-1\right)}{2r^3}$$

令 $Q=2qa^2$，這一數值只和電荷之分佈情形有關，而與 P 點之位置無關，我們稱這一數量為這種電荷分佈的電四極矩（*electric quadrupole moment*）。因此線型電四極的電位為

$$\phi=\frac{Q\left(3\cos^2\theta-1\right)}{2r^3}$$

電偶極的電位隨 $1/r^2$ 減小，而電四極的電位則隨 $1/r^3$ 減小。若 P 點在 Z 軸上，則電四極在該點之電位為 $\phi=Q/r^3$。這種電荷分佈的電場可由 $\vec{E}=-\nabla\phi$ 之關係求得。

【線規】（Wire gauge）

決定線號或導線圓面積之規儀。以數值記錄線度，普通用較小的號數代表最粗的導線。

【線圈】(Coil)

線圈爲一導線捲繞而組成。通常無線電界應用之線圈，捲繞方法各有不同。約有下列幾種：

1. 疊層線圈（*bank wound coil*）——疊層線圈係將導線繞成線圈一轉後，復回繞重疊者。如線圈下層爲1、2、4、6、8圈，則上層疊繞必爲3、5、7、9圈。

2. 籃形線圈（*basket wound coil*）——籃形線圈，係將導線繞成籃形之線圈。

3. 蜂房線圈（*honeycomb coil*）——蜂房線圈，其作用與普通線圈相同，因其繞線圈形態若蜂巢形故名之。此種線圈，可減小線圈體積與容電量。

4. 插入線圈（*plug-in coil*）——係將導線繞於電子管座，或繞於硬橡皮筒或膠木筒上。線分四端或六端連接腳上，可插入線圈座，稱爲插入線圈。

5. 柱形線圈，圓筒形線圈（*solenoid coil*）——係將導線繞成圓筒形者。

6. 間隔繞法之線圈（*space wound coil*）——係將導線環繞於圓筒上，以每間隔一圈或二圈而繞成者。

7. 蛛網形線圈（*spider-web coil*）——蛛網形線圈，係將導線繞成蛛巢形者。

8. 多頭線圈（*tapped coil*）——將導線每繞十圈或二十圈抽夾一頭而出者，稱爲多頭線圈。

【線圈之自感量】(Inductance of coil)

線圈自感量的大小，係由線圈構成之形式而異。種類頗多，惟在無線電路中之最通用者，爲單層柱形線圈（*single layer solenoid*）。此式線圈之自感量，可由下式推算之：

$$L = 0.0251 \times d^2 \times n^2 \times lk$$

式中　L爲線圈之自感量（μh）。

d爲線圈之有效直徑（in）。

n爲每吋中所有線圈之圈數（n/in）。

l爲線圈上所繞圈數長度（in）。

k爲常數（*constant*）。

【線圈之損失】（Losses in coil）

線圈由導線繞成，因無線電流之週率極高，由於趨膚效應（*skin effect*）作用，其損失尤甚，是爲線圈損失。

【線圈之感抗】（Inductive reactance of coil）

將感抗Z，直流電阻R，電感L之線圈，接在頻率f，電壓V之交流電源時，所通過之電流爲I，則感抗爲

$$\frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2} = \sqrt{R^2 + Z^2}$$

如R遠小於Z時

$$\frac{V}{I} = Z = 2\pi f L$$

由實驗可知：

線圈容易讓直流電通過而不易讓交流電通過，有無鐵芯對線圈之感抗變化很大，且交流之週率亦對線圈之感抗變化很大。

【線圈天線之有效高度】（Effective height of loop antenna）

線圈天線有效高度，其對於橫平線長度，直立線高度，波長及線圈圈數皆有密切關係。今以算式表之如後：

$$h_{eff} = 2\pi \frac{lhn}{\lambda} = 6.28 \frac{lhn}{\lambda} \cdots (m)$$

式中 h_{eff} 爲有效高度（m）；l爲橫平線長度（m）；h爲直立線

高度（m）；n爲線圈天線圈數；λ爲波長（m）。

【線速度】（Linear velocity）

物體或天體沿視線或直線運動之速度爲各該物體或天體之線速度。其計量爲單位移動距離除以單位時間（ds/dt）所得之商。

【線偏振】（Linear polarization）

若光波的電場恆在一直線上振動，此光即稱爲線偏振，有時亦稱平面偏振（*plane polarization*）。

【線動量】（Linear momentum）

一個質點的線動量定爲其質量和速度的乘積，以p代表它，即

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

【線動量守恆律】（Conservation of linear momentum）

若沒有力作用於一粒子，則這粒子的動量亦不會有變化。因此，我們說若無外力施於一單獨粒子，則此粒子的動量（*momentum*）恆爲一常量。

假設我們有一n粒子的系統m_1，m_2，… m_n，這些粒子除互相作用外，更受著系統以外的力作用，如圖15—152所示。我們把粒子的相互作用力稱爲內力（*internal force*），來自粒子以外的力稱爲外力（*external force*）我們更假設任意兩粒子之間的作用力是大小相等而方向相反的，亦即遵守著作用力與反作用

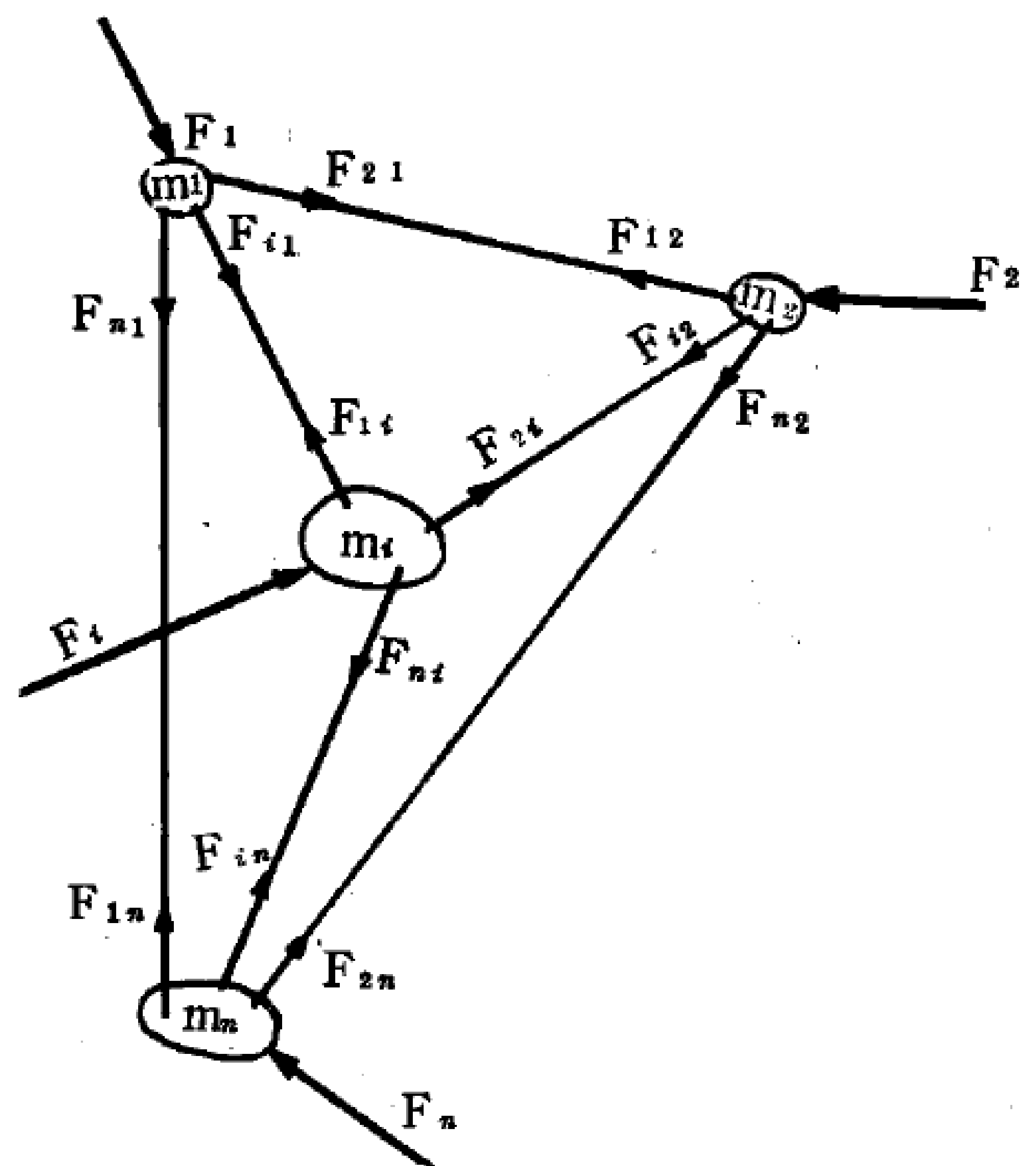


圖15—152

力相等這概念。我們用$\vec{F}_{ij}$表示粒子 i 作用於粒子 j 的力，而$\vec{F}_i$ 則表示作用於粒子 i 的淨外力。然後依次地把牛頓第二定律應用到每一粒子上去：

$$\begin{aligned}
&\vec{F}_1 + \vec{F}_{21} + \cdots + \vec{F}_{i1} + \cdots + \vec{F}_{n1} = \frac{d\vec{p}_1}{dt} \\
&\vdots \\
&\vec{F}_i + \vec{F}_{1i} + \cdots\cdots\cdots\cdots + \vec{F}_{ni} = \frac{d\vec{p}_i}{dt} \\
&\vdots \\
&\vec{F}_n + \vec{F}_{1n} + \cdots + \vec{F}_{in} + \cdots + \vec{F}_{n-1,n} = \frac{d\vec{p}_n}{dt}
\end{aligned}$$

把這些方程式相加起來，因爲$\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$，所以內力的總和是零，於是

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots\cdots + \vec{F}_n = \frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \cdots + \vec{p}_i + \cdots + \vec{p}_n)$$

因此，作用於一堆粒子的外力的向量和等於這堆粒子總線動量的變化率。

若用以下的記號：

$$\vec{F} = \Sigma_i \vec{F}_i \text{ 及 } \vec{p} = \Sigma_i \vec{p}_i$$

則

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

在$\vec{F} = 0$的特殊情況中，$\vec{p}$是一常量。因此，若一粒子系統所受的淨外力爲零時，則這系統的總線動量是一常量。這就是線動量守恆律。

線動量守恆律曾在各種情況中被研究過，大至天文學上的，小至核子方面的，在各種情況中，例如各種形式的碰撞，其中又例如質子與質子間的，質子與電子間的碰撞，以及在日常的經驗中，都未有過違反這定律的測量。線動量守恆律在現今已被看成是宇宙性有效的。閉合系統（*closed system*）（不受外力作用）的動量必是守恆的，任何物理理論必須遵守這定律，因爲自這定律出發的推論都已被證實了，而所有

適當的實驗也被這定律解釋了。

當討論到一質點與另一質點的交互作用時，若質點的速度比光速小很多，則質點間的交互作用大致可滿足牛頓第三定律，這時由牛頓力學所推得的線動量守恆律是一種很好的近似結果；但若質點以高速運動與另一質點交互作用時，用牛頓力學則無法證明線動量守恆律，此時必須將質子的線動量，它們所創造的電磁場的線動量，以及碰撞過程中可能產生的電磁波的線動量加（依向量加法）在一起，才能發現在任何時刻這一系統的線動量爲一不隨時間改變的常數。如此線動量守恆律又能適合此一系統，而不失爲一條最基本的物理定律。

【線動量守恆原理】（**Principle of conservation of linear momentum**）

作用於一質點組的合外力爲零時，質點組的總線動量爲一不隨時間變化的向量。

【線膨脹】（**Linear expansion**）

溫度上升時，物體長度之延伸，叫做線膨脹。當溫度增加時，原子間之平均距離亦增加，以致整個固體膨脹。

例如：鐘擺的長度在夏季延伸，在冬季縮短，又如鐵軌相接處的空隙，夏季較窄，冬季較大等，都是線膨脹的例子。

設從 $0°C$ 加熱至 $t°C$ 時，物體長度從 I_o 延伸至 I_t，則

$$I_t = I_o + \alpha I_o t$$

或

$$I_t = I_o(1 + \alpha \cdot t)$$

α 爲線膨脹係數（*coefficient of linear expansion*），爲物體每升 $1°C$ 所增的長度與 $0°C$ 時的長度之比。設物體在 $t_2°C$、$t_1°C$ 時，長度分別爲

$$I_{t_2} = I_o(1 + \alpha t_2)$$

$$I_{t_1} = I_o(1 + \alpha t_1)$$

二式相除，得

$$I_{t_2} / I_{t_1} = (1 + \alpha t_2) / (1 + \alpha t_1)$$

$$I_{t_2} = \frac{I_{t_1}(1 + \alpha t_2)}{1 + \alpha t_1}$$

在分子、分母處各乘以（$1 - \alpha t_1$），則

$$I_{t_2} = I_{t_1}(1+\alpha t_2)(1-\alpha t_1) / (1+\alpha t_1)(1-\alpha t_1)$$

$$= I_{t_1}[1 + \alpha(t_2 - t_1) - \alpha^2 t_2 t_1] / 1 - \alpha^2 t_1^2$$

因 α^2 之值甚小，可將 $\alpha^2 t_2 t_1$ 及 $\alpha^2 t_1^2$ 二項略去，得

$$I_{t_2} = I_{t_1}[1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

$$= I_{t_1} + \alpha \cdot I_{t_1}(t_2 - t_1)$$

由此可知，當溫度由 t_1 °C 增至 t_2°C 時，所增加之長度不一定要以0°C 時的 I_0 長度來計算。故知伸長

$$I_{t_2} - I_{t_1} = \alpha I_{t_1}(t_2 - t_1)$$

【線膨脹係數】（Coefficient of linear expansion）

物體每升 1°C，所增的長度與其 0°C 時的長度之比，叫做線膨脹係數。0°C 時物體之長度爲 I_o，溫度升至 t°C 時，其長度爲 I_t，則其線膨脹係數爲

$$\alpha = \frac{I_t - I_o}{I_o t}$$

【線繞電阻器】（Wire wound resistor）

線繞電阻器的優點爲阻值正確，耐熱力大，如非接觸不良，不會引起雜音。電阻絲大都用鎳鉻合金（*nichrom*）或鎳鋅銅合金（*german silver*）製成。此式電阻器溫度係數極小，即溫度之變化不至影響其阻值之變化，且可耐200°C 以下的高溫。小阻值小電流之線繞電阻，大都繞於膠木片上，較大電流及高阻值者，類皆繞於瓷管（*ceramic rod*）之上，表面塗以琺瑯質（*enamel coated*），以防因發熱

而起酸化作用與變形。此式電阻器若阻值超過一萬歐姆時，常因體積過分笨重而改用碳質電阻。又因阻力線繞成旋狀後，一如電感器而有電感作用暨分佈電容，故不適於射頻電路中使用。把阻力線反折後使成反向並繞，亦可製成無感電阻器（*non - inductive resistor*），但仍不能免除其分佈電容，勉強可使用於射頻電路的較低頻迴路中。

依線繞方式，此類電阻器可分為兩種：

1. 固定式線繞電阻器——常用於整流濾波電路的分壓器中。有中間抽頭式、多接頭式、滑動接頭式等製品。滑動式接頭於選定適當阻值的分壓點以後，必須用螺旋（*screw*）將夾子（*clip*）固定，務須注意鬆緊適度。太鬆時將產生接觸電阻而發生高熱，太緊時易使電阻線斷裂。其耐熱力約在 100～200 *W*之間。

2. 可變式線繞電阻器——可變式線繞電阻器之高阻值者即電位器，大都具有三個接頭。低阻值者即變阻器（*rheostat*），大都為雙接頭式，每串聯於電子管燈絲（*filament*）以調節陰極電壓之用。

【線譜】（Line spectra）

原子、分子及核之發射譜有顯著之不同，原子譜大部分在可見範圍及紫外線範圍，其組成頻率間隔距離大，故在分光儀中為分離線，因此原子譜又稱為線譜。

參閱“雙線構造（*Doublet structure*）”條。

【緩速劑】（Moderator）

在反應器中，減低中子能量之物質，即緩速劑。由於慢中子較能有效地產生分裂反應，所以必須減低鏈鎖分裂反應中所生之快中子能量。

緩速劑之主要特徵為其原子量須儘量小。其次，一優良緩速劑應具有可忽略不計的捕獲截面，以免吸收被其減速之中子。最後其比重大小須能使中子與之撞擊不已。此最末一項條件對氣體則不適合。

在各種較輕元素中，硼（*B*）及鋰（*Li*）因均具較大捕獲截面而被

放棄。若再刪除氧（並非不可用，但做爲一優良緩速劑則太重）及氦，則所餘僅爲氣態元素，即僅餘四種元素及其同位素，即普通之氫、氘、鈹、碳之液態及固態能勝任，但其氧化物不刪除者，事實上僅有六種物質有可能：普通水（H_2O）、重水（D_2O）、鈹或其氧化物（BeO）、石墨（僅純碳之型式）、碳氫化合物，即有機化合物之烴類、若干氫化金屬或氫本身。

1. 普通水（H_2O）——自然界中最豐富之緩速劑。用於濃縮鈾燃料的反應器，使用前須經過“脫礦物質”之處理，以消除其他能加強其輻射分解及腐蝕能力之物體。普通水不能適用於天然鈾之燃料。

2. 重水（D_2O）——優良而昂貴之緩速劑。普遍使用於試驗用反應爐和某些電力反應爐中。此種緩速劑亦適用於天然鈾，且能達成高的比功率，而且其傳導熱的性質近於普通水，故亦爲非常優良的冷卻劑。

3. 鈹——性質優良的緩速劑。緩和能力強，捕獲截面小，質地輕，且具優良的機械抗力，爲良好熱傳導體，在 1,280°C 熔融。其缺點爲極少延伸性，且毒性極大，此外鈹甚稀少。此種緩速劑使用於 ARE反應爐中，此外用輕水的研究反應爐中亦部分使用之。

4. 石墨（僅純碳之型式）——非優良之緩速劑。質不密，而碳原子在具減緩之能力上論已嫌太重。唯用於天然鈾效能尙佳，且爲良好的結構材料。較重水更易使用，因係固體，容易製造，價廉。

5. 有機緩速劑——氫化合物烴類僅具碳與氫之成分者。此類化合物中比較更安定者，爲芳香族烴及更特殊之聚苯化合物（*polyphenyles*）。其中二苯類及三苯類似更適宜，此等緩速劑汽化傾向小，腐蝕性小，而且在大多數場合其流體物可兼具減速及冷卻之功用。惟其含有氫，故不能用天然鈾，且相當不安定，在熱的影響下，尤其 350°C 以上部分分解。

6. 氫化物——在若干研究用反應爐或在核子推進器中，有使用不

含氧及碳之氫化物爲緩速劑者。更常有用氫化鋯，但亦有用氫本身或與燃料結合（鈾之氫化物）或爲元素態（液態氫或氣態氫）。此等應用十分特殊。

【緩發中子】（Delayed neutron）

在反應器中，放射性分裂產物在分裂發生數秒鐘或數分鐘後，才放出的中子稱爲緩發中子或遲延中子。在分裂之瞬間所放出之大部分中子是瞬發中子（*instantaneous neutron*）。在 $\frac{1}{10}$ 秒到數分鐘內所放出的緩發中子少於 1 %。緩發中子在考慮反應器的設計及控制上佔有重要地位。

緩發中子亦稱爲中子放射線，其量隨時間按指數函數減少。其他有關的量，例如緩發中子之半衰期及能量等，亦全被觀測過，此諸值均列於下表。如下表所示，緩發中子尙未佔中子總數之 1 %，其強度甚弱。然因它遲出，故自原子爐之控制點觀之，反爲最有用者。

半衰期（秒）	平均能（仟電子伏特）	對中子總數之比率（%）	放出中子之核
55.6	250	0.025	$^{87}_{36}Kr$
22	560	0.166	$^{137}_{54}Xe$
4.51	430	0.213	—
1.52	620	0.241	—
0.43	420	0.085	—
0.05	—	0.025 計 0.755 %	—

緩發中子中半衰期爲 55.6 秒及 22 秒，根據觀察，分別產生在 $^{87}_{35}Br$ 及 $^{137}_{53}I$ 行 β^- 蛻變變爲 $^{87}_{36}Kr$ 及 $^{137}_{54}Xe$ 的期間。因此諸中子各在 $^{87}_{36}Kr$ 或 $^{137}_{54}Xe$ 產出之際即被釋出，故 55.6 秒及 22 秒之半衰期分別

爲母代核 $^{87}_{35}Br$ 及 $^{137}_{53}I$ 行 β^{-} 蛻變之半衰期。中子之所以產生在分裂過程，係由於生成核在最初處在受激態而具有大於中子結合能之激發能所致。當其激發能小於中子之結合能時，其多餘的能量，將以 γ 光子之形式放射，核遂而落至低狀態。

【緩衝作用】(Buffer action)

在接收機或發射機中，任何減弱兩電路之交互作用的設備。

【緩衝放大器】(Buffer amplifier)

在無線電發訊機內振盪器的後面，如接上一個功率放大器；振盪頻率即受到影響而發生變化。在無線電通訊中，訊號頻率必須高度穩定，否則將妨礙正常通訊。爲了達到此種目的，在振盪器後，常接一個只吸收少量功率的放大器，以隔開振盪器及後面的功率放大器，使振盪器不致直接受到功率放大器的影響，振盪頻率才能保持不變。這個具有緩衝作用的放大器，稱爲緩衝放大器。

【緩衝蓄電池】(Buffer battery)

是與整流器或發電機並聯相接的蓄電池，其作用是使由整流器或發電機供出的電壓波形能夠平穩。和從蓄電池直接供電相比較，緩衝式接法的優點爲：在工作時間內，蓄電池時時都在由整流器或發電機補充充電，所以電池容量可以比由蓄電池直接供電時小些，並且不需要專門的週期性充電。

【耦合】(Coupling)

將兩個電路連絡起來。使信號從一電路傳送至另一電路，便叫耦合。

【耦合廻路】(Coupled return circuit)

這是彼此耦合在一起的兩個或多個振盪廻路。由於存在著廻路間的耦合，就使得在這些廻路內出現若干不同頻率的耦合振盪（不同頻率的個數等於耦合廻路的個數）。由於這種情況，耦合廻路中諧振現象的性

質也就有所改變。只要外部正弦電勢的頻率與系統中某個固有振盪頻率相同，就能出現一次諧振現象，所以在耦合廻路中可以在數個不同頻率上發生諧振，例如在兩個耦合廻路中便出現兩個不同頻率的諧振。如果這兩個頻率相差很遠，而且廻路的衰減因數又很小，則兩個諧振便很明顯地分開，諧振曲線就成了雙峯的形狀。不過當衰減因數增大或頻率間的差別減小時，兩個諧振就不能單獨地分開來，諧振曲線的頂峯也就匯合到一起，諧振曲線變爲單峯的形狀。因爲在互相耦合的兩個相同廻路中，廻路間的耦合越弱，耦合振盪頻率之間的差別就越小，所以在衰減因數爲任何數值時，都可以將廻路間的耦合減到非常的小，以使諧振曲線變成單峯曲線。圖 15 — 153 示當兩個相同廻路（均單獨地調諧於頻率 ω_0 ）之間的耦合係數變化時，諧振曲線的變化情況。即使在單峯曲線的情況下，當廻路間的耦合還足夠強時（稍小於諧振峯匯合在一起時的耦合），耦合振盪中有兩個自然頻率也仍然會影響到諧振曲線的形狀。雙廻路諧振曲線的形狀與單廻路曲線所不同的，是它的頂峯比較寬，兩邊下降也比較陡。

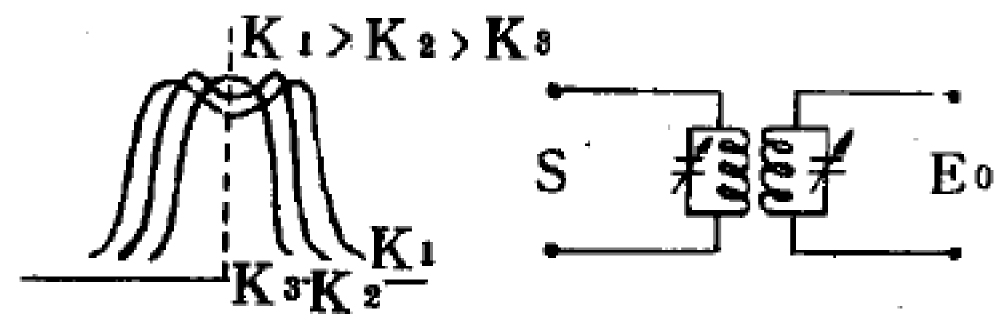


圖 15 — 153

在三個或更多個耦合廻路的情況下，諧振現象就顯得比較複雜，但原理上是一樣的，即諧振出現於耦合廻路固有振盪的每一個頻率。因此，例如在三個廻路的情形下，當耦合很強及衰減因數很小時，諧振曲線就有三個凸峯，耦合廻路諧振曲線的形狀與單廻路曲線的形狀不同，而且還可以通過改變廻路間的耦合來改變這些曲線的形狀，這就是耦合廻路的主要寶貴特性，這些特性決定著耦合廻路的實際用途，即用作段通濾波器。

【耦合係數】(Coupling coefficient)

凡計算電路耦合度之寬緊者，稱爲耦合係數，通常以 K 表之。K 之

最大值爲1，若K之值愈大，則由某電路對他電路傳輸之電能亦愈大。如兩電路互作磁感耦合時，則K值可由下式計核之

$$K=\frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

式中M爲實際互感量（*mutual inductance*）；L_1爲某電路線圈之磁感量；L_2爲他電路線圈之磁感量；$\sqrt{L_1 L_2}$爲理論的互感量；其單位皆爲亨。

【耦合振盪】（Coupled oscillation）

兩個或多個振盪器，連繫在一起振盪，互相影響。這種現象叫做耦合振盪。圖15－154(*a*)中，是將兩個質量m_1與m_2各和彈簧k_1與k_2相連，而以彈簧k將其連結成一耦合，因而m_1與m_2之運動不能各自獨立；在圖15－154(*b*)中，是將兩個單擺用繩子AB將其連結成一耦合。一個耦合中兩個振盪器的淨效應能夠描述爲兩個振盪器之間的能量交換。

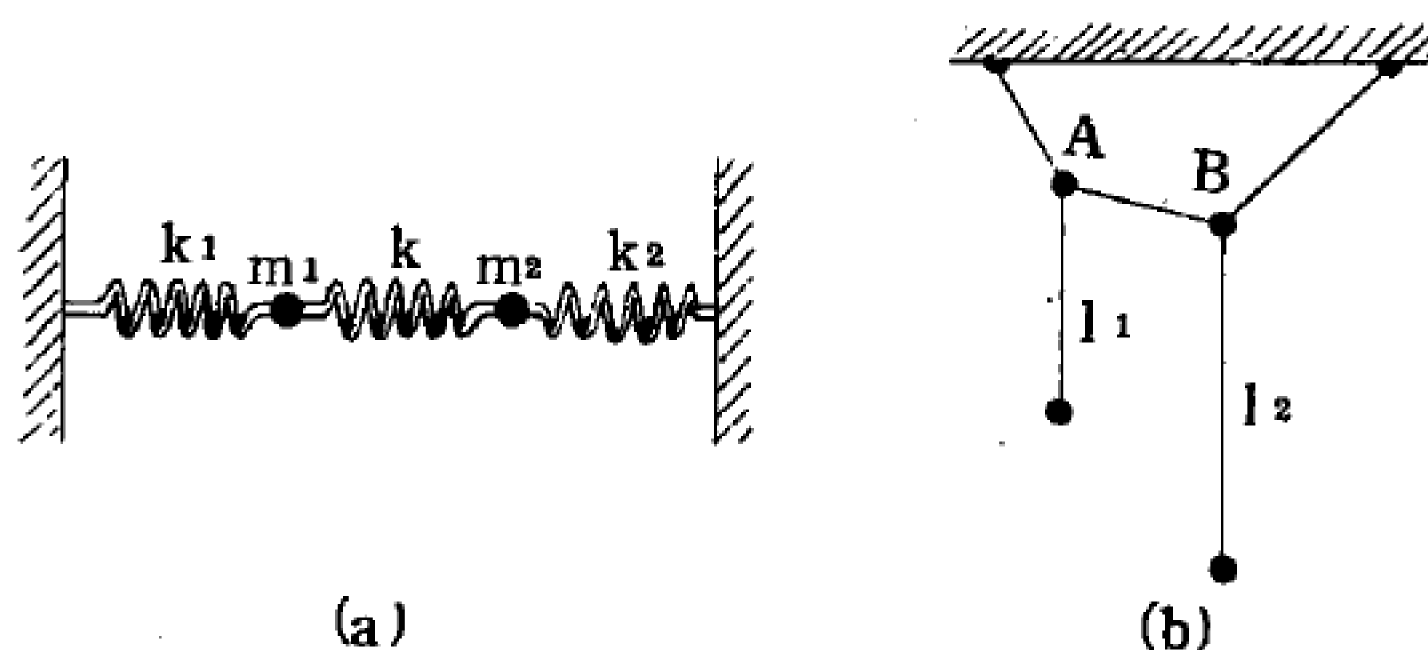


圖15—154　耦合振盪器之實例

兩種耦合振盪器的一般運動，可以認爲是振盪的兩種簡正方式（*normal modes*）的重疊效應；每一種方式有其本身之頻率；在其中一種簡正方式中，兩個振盪器作同相（$\delta=0$）振盪，在第二種簡正方式中，兩個振盪器作反相（$\delta=\pi$）振盪。這兩種振盪的簡正方式簡單地表示於圖15－155之中；圖中所示之簡正方式對應於兩個質量之運動爲定值相差之情況；在第一個方式中相差爲0，在第二

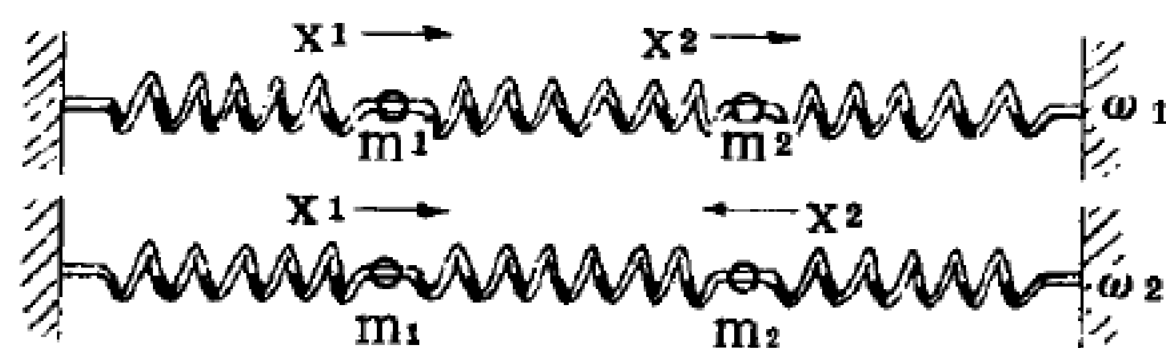


圖15—155　兩種耦合振盪器振盪的簡正方式

個方式中相差爲 π 。在每一個方式中，兩個質量都是同時通過其平衡位置，同時到達其最大位移。

當某一耦合振盪器之運動只能以這兩種簡正方式中之一種描繪時，則其振幅保持定值，因而其能量也保持定值，亦即沒有能量之交換。然而，在一般情況中之運動，是由兩種方式重疊而成，而每一振盪器之振幅均不能保持定值，因爲簡正方式有其不同之頻率。通常，當一個振盪器之振幅增大時，另一振盪器之振幅減小；之後則情況變爲相反。茲以考慮圖 15－156 中之耦合擺爲例，假如我們只將 P_2 拉離其平衡位置而釋放之，我們可以看到起初其振幅漸減小，而 P_1 則開始振盪且振幅漸漸增大；當 P_2 停止振盪時，P_1 到達其最大振幅；而後情況反轉過來，P_1 之振幅漸漸減小，而 P_2 之振幅漸漸增大 。對應於上述情況的耦合振盪器之位移（如圖 15－157 ）所示。振幅隨相差之此一週期性變化表示在兩個振盪器之間有能量之交換；在振盪器 1 之振幅減小而振盪器 2 之振幅增大之過程中，能量由振盪器 1 轉移給振盪器 2；在次一過程中，情況反轉過來，能量向反方向移轉，此兩過程自動連續不斷地重覆變化。

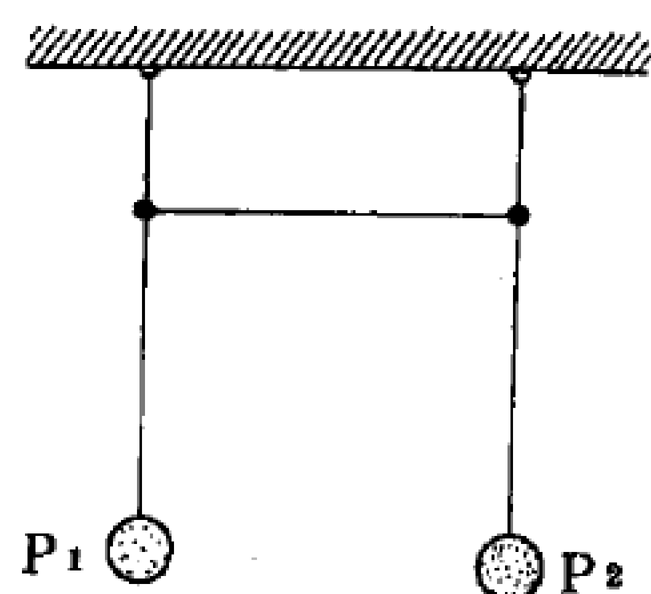


圖 15－156
擺長相同之耦合擺

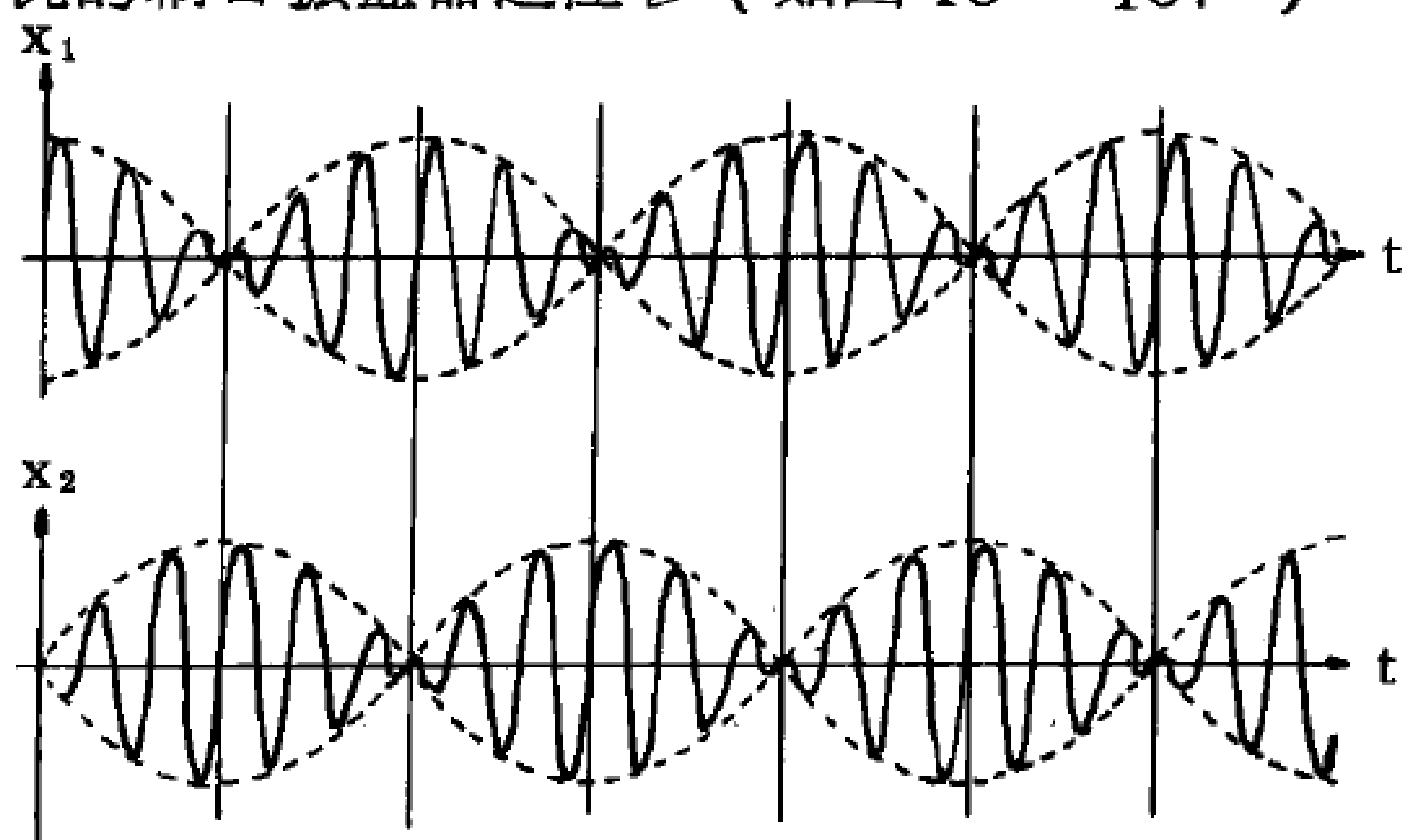


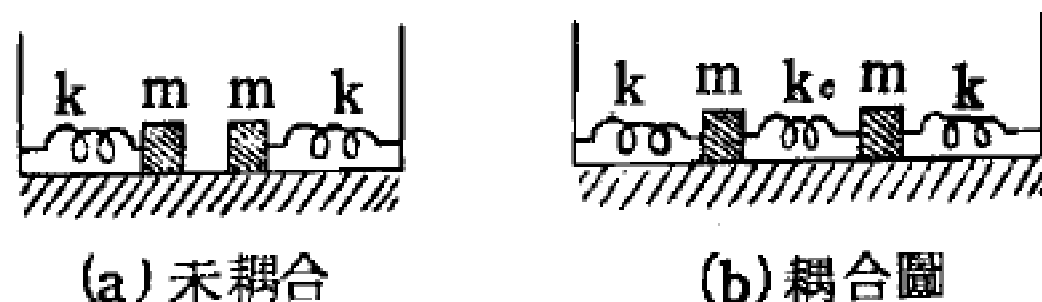
圖 15－157
具有相同振幅之兩組相同的耦合振盪器之位移對時間之關係

【耦合振盪器】(Coupled oscillator)

兩個或多個振盪器，其間以某種方式相互連絡所成的系統，稱爲耦

合振盪器。

例如，圖 15 — 158 (*a*)中兩個相同的機械振盪器可以用另一彈簧 k_c 耦合在一起，如圖 15 — 158(*b*)所示。



(a) 未耦合　(b) 耦合圖

圖 15 — 158　機械振盪器

在(*a*)中，兩個振盪器具有同樣的振盪頻率 $f_0 = (1/2\pi)\sqrt{k/m}$，且能相互獨立振盪。但在(*b*)中，整個系統卻有兩種振盪模式（*mode*），即以兩種不同的頻率和方式振盪。其中一種模式是兩個質量作"同相"的振盪（即兩質量以相同的頻率 $f_1 = f_0$ 和相同的振幅，一起向左向右運動）；另一種模式是兩質量以相同的振幅但以相反的相振盪（即其中之一移向左時，另一質量即移向右），這模式的頻率是

$$f_2 = (1/2\pi)\sqrt{(k+2k_c)/m}$$ 。

這兩個頻率稱爲該耦合系統的簡正頻率（*normal frequency*），分別屬於該系統的兩個簡正模式的振盪。兩簡正模式均可各別予以激發；將兩質量等量向右（左）移動再由靜止釋放即得第一模式，或將兩質量各以等量向左和右拉開，然後由靜止釋放，即得第二模式。若用其他不對稱的方式激發，則該系統將以二模式重疊的方式振盪，兩頻率均出現。其他類型的機械振盪器亦同此理。

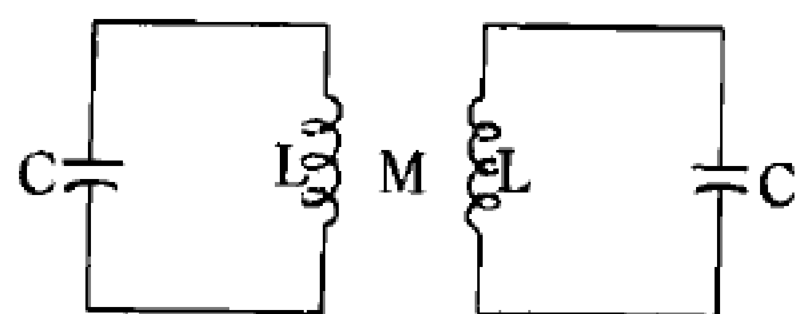


圖 15 — 159　耦合振盪器

電子耦合的振盪系統如圖 15 — 159 所示，它有兩個簡正模式，其一是兩電路中的電流爲相同；另一個是兩電流爲反相。兩簡正頻率爲

$$f_{1,2} = 1/(2\pi\sqrt{L \pm M})C$$

假設兩電路完全相同，且不含電阻。若有交流電動勢 $V_0 \cos 2\pi ft$ 加入其中一電路，則共振將發生兩次，各在 f 等於兩簡正頻率之時。

【耦合常數】（Coupling constant）

在貝他衰變（由於粒子之間的弱交互作用）及解釋原子核內核

子之間的力（由於強交互作用）時，所用以代表粒子交互作用的強度的若干數值，與電子電荷 e（電子和電磁場的耦合常數）及萬有引力常數（物質和重力場的耦合常數）相似。粒子之間的交互作用，稱爲耦合（*coupling*），核子放出或吸收派子的交互作用，乃湯川秀樹(*Hideki Yukawa*)所發現，又稱爲湯川耦合。

【耦合電容】（Coupling condenser）

放大器內前級電子管屏極電路與次級電子管柵極電路間所聯接的電容。耦合電容的用處是：阻止前級電子管屏極的直流高壓加到次級電子管的柵極，同時將由前級電子管屏極負荷上得出的電壓交流份量傳送給次級電子管的柵極。爲了完成上述第二個任務，耦合電容應當相當大，即使對放大器應當放大的最低頻率來說，它的容抗與柵極漏阻相比也應當是很小的。但如果耦合電容太大了，放大器將不能穩定地工作。

【耦合電路】（Coupled circuit）

如圖 15－160 中所示 A 與 B 之兩個電路。當電流 I_1 環繞電路 A 時，在其周圍產生一個與 I_1 成正比之磁場，而在電路 B 中產生與 I_1 成正比之磁通量 Φ_2；故可寫成

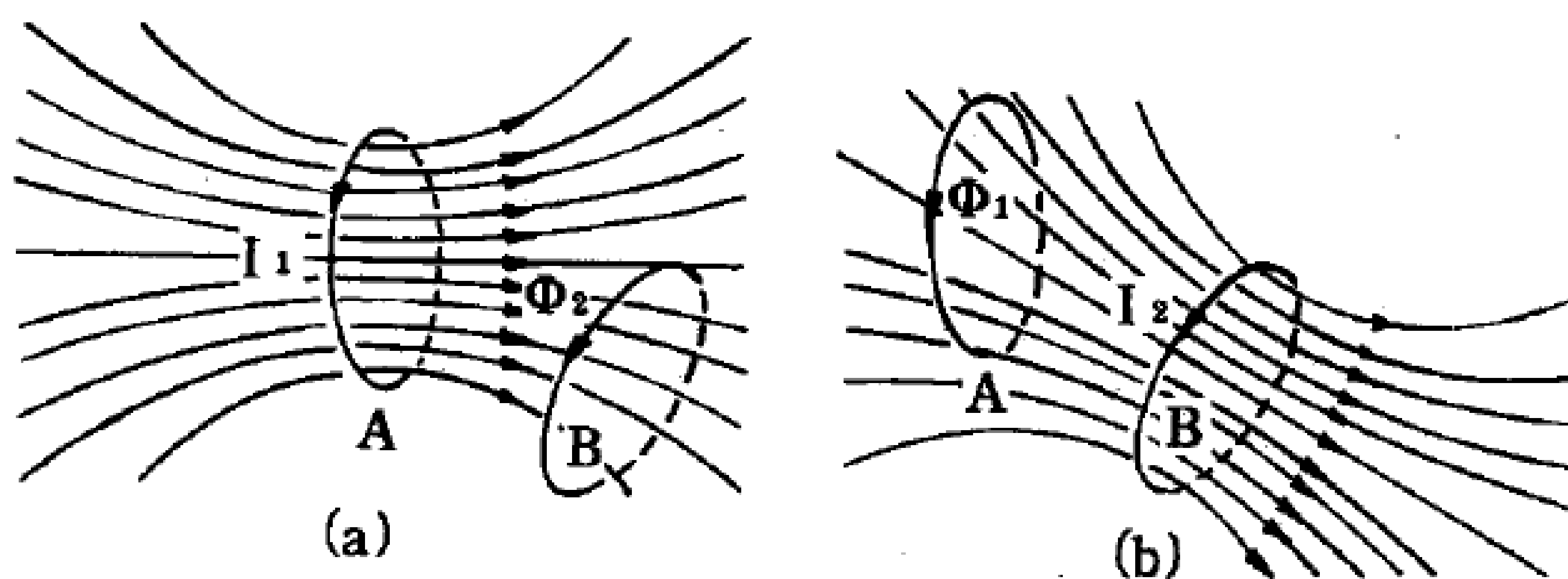


圖 15－160　互感應

$$\Phi_2 = MI_1 \qquad (1)$$

式中常數 M 表示當電路 A 中之電流爲 1 單位時電路 B 中之磁通量。同理，假如電流 I_2 環繞電路 B 時，也會產生磁場，因而在電路 A 中產生與 I_2 成正比之磁通量 Φ_1；也可以寫成

$$\Phi_1 = MI_2 \qquad (2)$$

在（2）式中我們用與（1）式中的同一比例常數M，這是表示當電路B中之電流爲1單位時電路A中之磁通量與當電路A中電流爲1單位時電路B中之磁通量相同，而此一敍述已得到數學的證明。常數M稱爲這兩個電路之互感（*mutual inductance*）係數，其值決定於兩個電路之形狀及其相對之方位；其單位亦爲亨，因其對應於$Wb\,A^{-1}$。

如果電流I_1發生改變，則通過電路B中之磁通量Φ_2也發生改變，而在此電路中感應產生一個電動勢V_{M_2}；其值爲

$$V_{M_2} = -M\frac{dI_1}{dt}$$

在寫此式時，我們假定電路爲剛性的並且固定在空間中，以致M爲常數。同理，如果電流I_2發生改變，則在電路A中感應產生一個電動勢V_{M_1}，書爲

$$V_{M_1} = -M\frac{dI_2}{dt}$$

因爲M描繪兩個電路之相互效應或影響，這就是M何以稱爲互感係數之原因。另外，如果兩個電路作相對運動，結果使M發生改變也互相感應產生電動勢。

互感應之現象顯示當二電路中之電流隨時間發生改變時，則在此二電路中有能量之交換，於是我們說此二電路以電磁而耦合。變壓器爲互感應之一項普遍而實際的應用。在較廣泛之意義上，互感應之其他應用是使一個稱爲發報機的電路中之電流發生變化而將信號從一個地方傳播至其他地方，這個電路不斷的作用於與其成耦合而稱爲接收機的另一電路；電報、收音機、電視、雷達等等都是這個原理。

就嚴格地分析，任何包括兩個以上網電流或兩個以上節電位差的網絡，都可看作耦合電路。因爲任一網電流，藉著交接部分耦合電路元件的電位差，而控制或影響相鄰環路的網的電流；同樣任一節電壓也會藉相鄰的電路元件，而影響相鄰的節電壓。

在互感應的現象中，例如兩個用環線組成的線圈疊在一起，任一線圈內的感生電動勢，除了包括本身自感應的反電動勢外，又藉著幾何位置的關係，受另一線圈互感應的影響，而產生互感應的電動勢，因此設兩線圈的電流分別為 I_1 及 I_2 時，則線圈的淨電動勢為

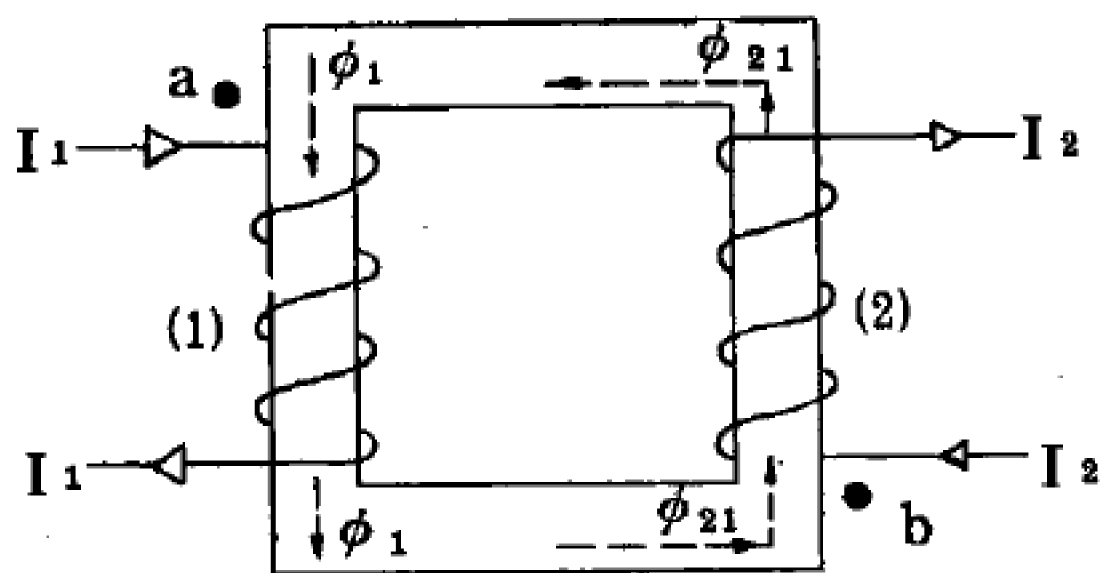


圖 15—161 互感的極性

$$V_1(t) = -E(t) = L\frac{dI_1}{dt} + M\frac{dI_2}{dt} \qquad (3)$$

互感應M可以是正值，也可以是負值，視 I_1 及 I_2 的相對方向而定，如在某一瞬間，I_1 及 I_2 都是正值，而 I_2 所產生的磁通量與 I_1 所產生的磁通量方向相同，則M為正值，顯然M的正負影響了 I_1 及 I_2 相對方向的慣例，我們可以在兩線圈的端點各以黑點表示。如圖 15 — 162 所示，如在某一瞬間 I_1 及 I_2 的正負極性相同，且 I_1 及 I_2 都是進入黑點，然後M才是正值，如果第一線圈與第二線圈有導線連接，如圖 15—162 所示，則(a)的情形 $I_1 = I_2$ ，在(b)的情形 $I_1 = -I_2$，因此其合電位差分別為

$$(L_1 + L_2 + 2M)\frac{dI}{dt} = V(t)$$

以及

$$(L_1 + L_2 - 2M)\frac{dI}{dt} = V(t)$$

因此這種連接體的有效感應為 $L_1 + L_2 \pm 2M$。

因此（3）式就代表網電流耦合的情形，為

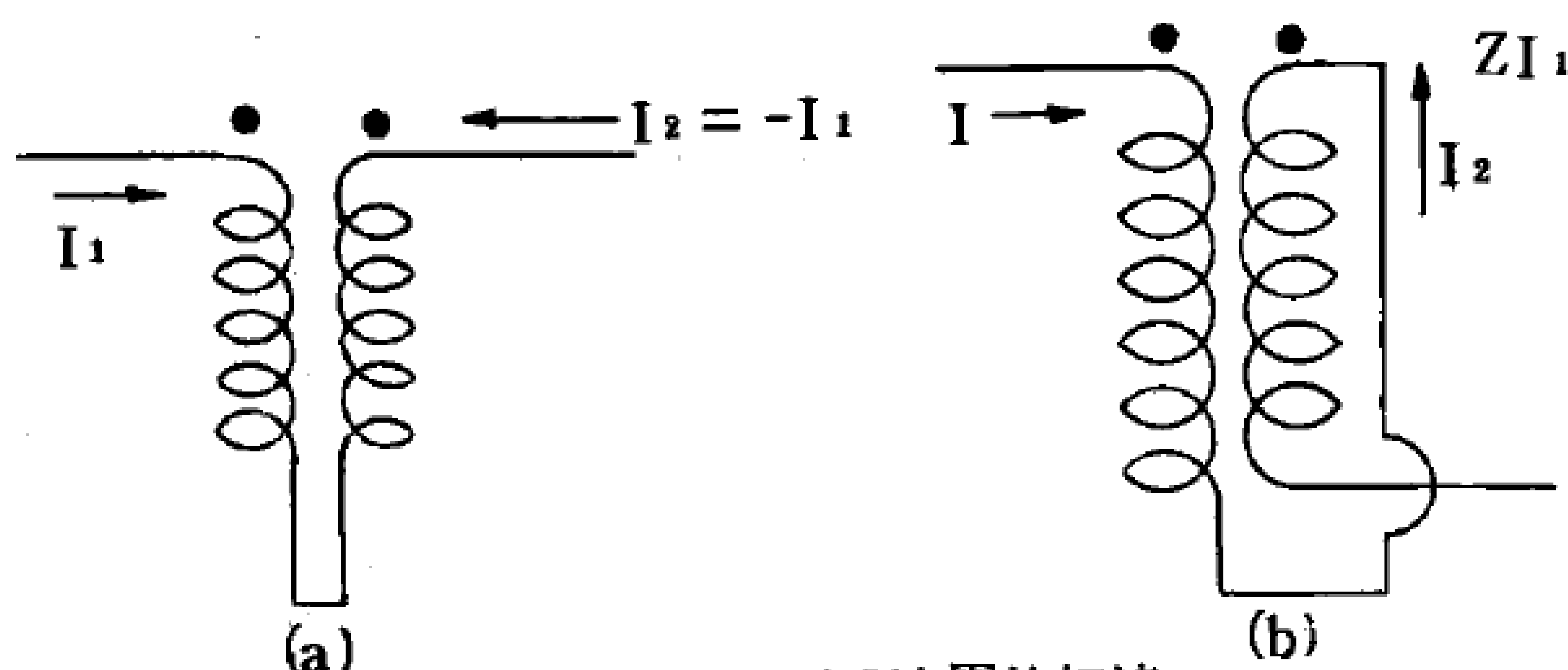


圖 15 — 162 互感線圈的相連

了表現這種耦合的程度，一般都定義一個耦合係數（*coupling coefficient*）k，對互感耦合而言，

$$k=\sqrt{\frac{|M|}{L_1}\frac{|M|}{L_2}}$$

$|k|\leq 1$，k 可以是正值，也可以是負值，決定於互感應 M。

【耦合線圈】（Coupling coil）

利用兩個並排線圈（如圖 15－163）的互相感應而構成的耦合電路。

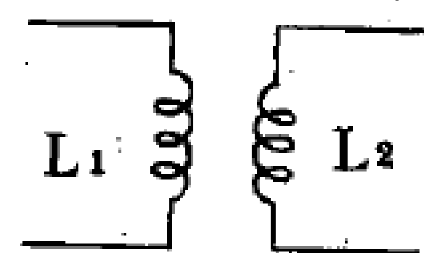


圖 15－163

【耦合頻率】（Coupling frequency）

耦合廻路中所發生耦合振盪的頻率。若將各具有一定固有振盪頻率的兩個廻路耦合在一起，則該二廻路中的耦合振盪將具有與各廻路固有頻率不同的耦合頻率。這時，耦合頻率中的一個頻率將大於較大的廻路固有頻率，另一頻率則將小於較小的廻路固有頻率。在個別情況下，當兩個廻路具有相同的固有頻率時，則耦合頻率中有一個將比兩廻路的公共固有頻率大些，而另一個則小些。廻路之間的耦合愈強，則耦合頻率與兩個廻路的固有頻率差別愈大。

【耦合擺】（Coupled pendulum）

耦合擺是由兩個單擺中間以彈簧連結而成，它的運動可以被分解爲兩個不同頻率的諧和運動疊合而成。所以可用諧和運動模式的疊合來表示。僅需要兩個變數來描述其運動。

讓我們就兩擺爲等長時的情形，做一個數學分析。令一擺的位移爲 x，又另一擺的位移爲 y，如圖 15－164 所示。如果沒有彈簧的話，則第一個質量所受到的力與其位移成正比：此乃由於重力而來。如果沒有彈簧的話，則只有一個特定的自然頻率 ω_0 而已。在沒有彈簧的情形下，

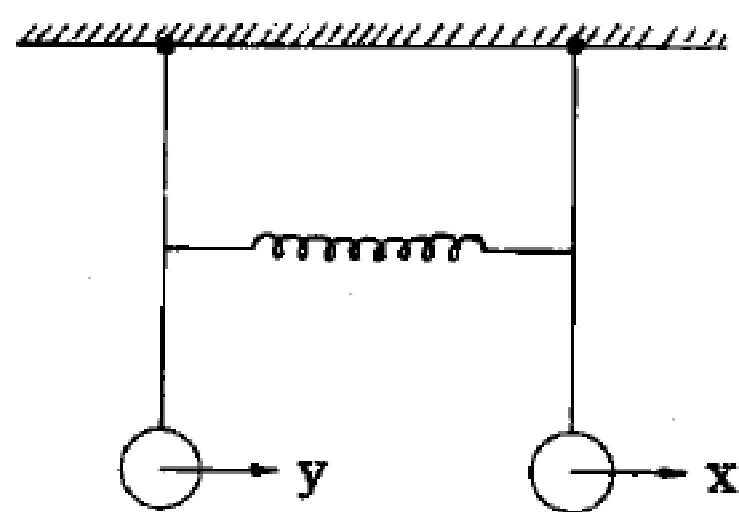


圖 15－164 兩個耦合擺

其運動方程式爲

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=-m\omega_0^2x$$

同時如果在沒有彈簧的情形下，另外一個擺也會依同樣的情形擺動，但是現在除了重力以外，還有一個恢復力，這個力把第一個質量往回拉。此力決定於 x 超過 y 的距離，而與 x 和 y 的差成正比，所以此力是等於一個與系統的幾何形狀有關係的常數再乘以（ $x-y$ ）。第二個質量則受到一個大小相等方向相反的力。運動方程式爲

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=-m\omega_0^2x-k\ (x-y)$$

$$m\frac{d^2y}{dx^2}=-m\omega_0^2y-k\ (y-x) \qquad (1)$$

爲了要找到一個能允許兩個質量以同一頻率作振動的運動，我們就必須要決定究竟每一個質量到底應該運動多少。換句話說，x 擺和 y 擺可以在同一個頻率下做振動，但是他們的振幅必須有某兩個特定的值 A 和 B，而 A 與 B 具有一定的關係。若以下列二式

$$x=Ae^{iwt}$$

$$y=Be^{iwt}$$

代入（ 1 ）式並收集相同的項，得到的結果爲

$$\left(\omega^2-\omega_0^2-\frac{k}{m}\right)A=-\frac{k}{m}B$$

$$\left(\omega^2-\omega_0^2-\frac{k}{m}\right)B=-\frac{k}{m}A \qquad (2)$$

上面的方程式只能決定 A、B 的比值，不過這兩個式子必須要能得出相同的比值。要使這個式子所得到的結果一致，頻率 ω 只能夠等於某些特別的值。

在目前的特殊情況下，我們可以很容易的將其求出來，我們將二式

相乘，結果就是

$$(\omega^2 - \omega_0^2 - \frac{k}{m})^2 AB = (\frac{k}{m})^2 AB$$

如果A和B是零的話，就表示根本沒有運動，如果有運動的話，也就是當A和B不爲零的時候，我們可以把等式兩邊的AB消去 ，那麼剩下來的兩項一定要相等，我們所要解的就是一個二次方程式。其結果顯示有兩種可能的頻率

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 \qquad \omega_2^2 = \omega_0^2 + \frac{2k}{m}$$

如果把這些頻率的值代回（２）式，我們可以更進一步的發現，對於第一個頻率會有$A = B$，對於第二個頻率會有$A = - B$。這些模式的形狀可以很方便的以實驗來證明。當$A = B$，也就是對於第一個模式，彈簧一直保持原狀，沒有伸縮，同時兩個質量均以相同的頻率ω_0作振動，就好像彈簧不存在一樣。對於另外的一個解，我們有$A = - B$，彈簧的恢復力作用於兩擺，因此使得振動的頻率變高。如果兩擺的長度不相等，則可得到更有趣的結果。

【膠片胸章】（Film badge）

從事核工業或核研究的人員所配帶的一種類似胸章的感光膠片，用來測定人員受游離輻射的可能曝露量。人員所接受的吸收劑量可由膠片受照射而感光的程度計算出來。膠片上有一部分是蓋著鎘、鉛與其他物質等製成的濾器。這些濾器不但與能量無關，而且又能估定各種輻射的劑量。

要是把膠片胸章曝露於低能電磁輻射或β^-輻射下，便可發現沒有受濾器遮蓋的膠片，其變黑程度比受濾器遮蓋的膠片還要顯著。造成這種差別的最主要因素，在於濾器能夠吸收部分甚至全部的輻射。習慣上我們先從混波輻射中分別估定曝露劑量，其次才測度膠片區域包括受遮蓋與未遮蓋的膠片區域的暗黑程度。此外，鎘製濾器一受到中子照射，就在其內部發生（中子、γ）的交互作用，加深了其下膠片變黑的程度

。因此，只要觀察此結果，就可輕易地估計熱中子的輻射劑量。

習慣上我們常使用特殊的膠片包，估計快中子的輻射劑量。這種膠片包的製法很簡單，只要把聚乙烯片夾放在兩片核乳膠感光板的中間，便可製成所要的膠片包。整個裝置，輕而緊密，具有吸收熱中子的鎘製濾器。如此，可以避免感光膠劑的氮原子與熱中子發生（中子、質子）的交互作用，而產生混亂的質子軌跡。於是，膠片胸章的種類便可分為兩種：一種是專供偵測快中子之用；另一種則用來偵測其他所有的輻射線。這兩種膠片胸章，可供進入輻射感染區工作的人員隨身攜帶。佩帶於胸部，就可估計全身所有的輻射曝露劑量。

【膠體的性質】（Characteristics of colloid）

一般膠體有下列四種重要性質：

1. 丁澤爾效應（*Tyndall effect*）——經狹縫射出的光線通過膠體，則光線在膠中通過的路線被照亮，這種現象稱為丁澤爾效應。

2. 布朗運動（*Brownian movement*）——膠體由一狹條光照射，在顯微鏡下觀察可以看到許多質點不斷地作不規則運動，稱為布朗運動。

3. 電荷——避液性膠體都由於吸著帶電荷的離子而具有電荷。

4. 透析（*dialysis*）——膠體不能透過薄膜，而眞正的溶液可以透過。膠體水溶液中如含有溶解的物質，可以裝入羊皮紙或火棉膠製的袋浸入流水中，則溶質透出薄膜而隨水流去，這種方法稱為透析。

【膠體溶液之表面張力】（Surface tension of colloidal solution）

一般疏水性膠體溶液之表面張力與水大致相同。若有改變亦在1%以下。如硫化砒、氫氧化鐵、氧化鋁之膠狀液。

親水性膠體溶液時，其中有些對於表面張力之影響甚著。如矽酸、錫酸、澱粉等膠體溶液之表面張力與純水相差有限。但如膠、蛋白質、

橡膠等類時，其表面張力則降低甚多。又如肥皂等表面活性劑時，其表面張力變爲更小。一般凡可使表面張力降低者，經攪拌時，其起泡力較強。

【膠體溶液之密度】(Density of colloidal solution)

膠體溶液之密度，一般可由分散劑之密度與粒子之密度計算之。設分散劑、粒子及膠體溶液之密度各爲 d_w 、d_p 及 d ，膠體溶液 100 c. c. 中所含粒子之質量爲 X 克，膠體溶液 100克中所含粒子之質量爲 x 克，並假定分散劑及粒子之密度不因膠體溶液之濃度而改變時，則 100 c.c.膠體溶液中，各部分之質量及容積如下表：

	分散劑	粒子	膠體溶液
密度	d_w	d_p	d
質量	$(100d-X)$ 克	X克	$100d$ 克
容積	$\frac{100d-X}{d_w}$	$\frac{X}{d_p}$	100 c.c.

若設膠體溶液之容積，等於分散劑及粒子之容積和，則

$$100=\frac{100d-X}{d_w}+\frac{X}{d_p}$$

$$d=d_w+\frac{1}{100}\left(1-\frac{d_w}{d_p}\right)X$$

或
$$d=k_1+k_2X$$

即膠體溶液之密度與一定容積中所含粒子質量之間成直線關係。若取100克膠體溶液時，其中各部分之質量及容積如下表：

	分散劑	粒子	膠體溶液
密度	d_w	d_p	d
質量	$(100-x)$ 克	x 克	100克
容積	$\frac{100-x}{d_w}$ cc	$\frac{x}{d_p}$ c.c.	$\frac{100}{d}$ c.c.

則
$$\frac{100}{d}=\frac{100-x}{d_w}+\frac{x}{d_p}$$

又因溶液之比容 v 等於密度 d 之倒數

$$\therefore v=\frac{1}{d}=\frac{1}{100}\left(\frac{100-x}{d_w}+\frac{x}{d_p}\right)=\frac{1}{d_w}+\left(\frac{1}{d_p}-\frac{1}{d_w}\right)\times\frac{x}{100}$$

$$\therefore v=k_3+k_4x$$

卽膠體溶液之比容，與一定量溶液中所含粒子之質量成直線關係。膠體溶液密度之測定，可按液體之方法測定之。

【膜】(Membrane)

可以使空氣發生振動或對空氣的振動發生反應的薄片。耳機的膜片是很薄的鋼片。耳機電磁鐵的吸引力在不斷變化，鋼片受到這種吸引力的作用而振動，因此便將流過耳機線圈的低頻交變電流變成了聲音。

【膜片運動】(Membrane motion)

理論上的膜片是完全柔軟、均勻、非常薄的片層，以相等的力在外緣四周張緊。膜片在 xy 面內橫向振動時的運動方程式爲

$$m\frac{d^2Z}{dt^2}=T\left(\frac{d^2Z}{dx^2}+\frac{d^2Z}{dy^2}\right)$$

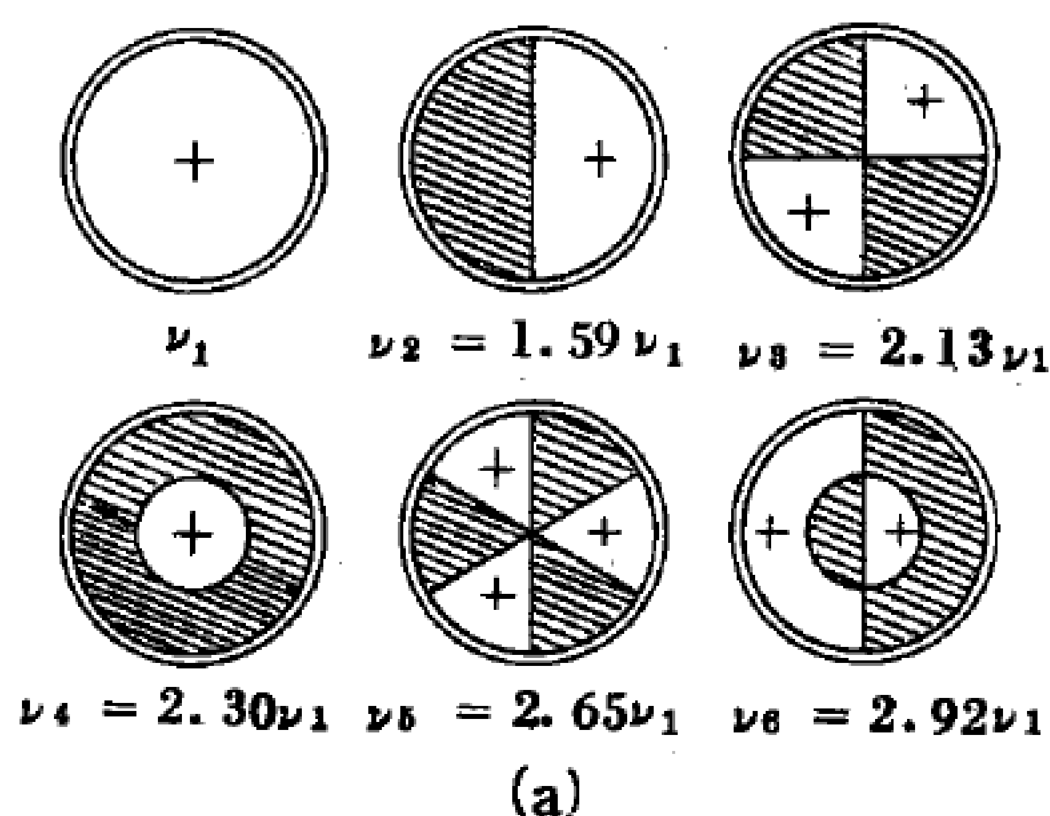
式中 m 是單位面積的質量，T 是張力。矩形膜片振動時有一列泛音，其頻率爲

$$\nu_n=\sqrt{\frac{T}{4m}\left(\frac{p^2}{a^2}+\frac{q^2}{b^2}\right)}$$

式中 a 和 b 是矩形兩邊的長度，p 和 q 是整數。有 $(p-1)$ 條節線與 b 邊平行，$(q-1)$ 條節線與 a 邊平行。有些是諧和泛音，但較低音符密集，一般效應是成噪音，其主要音符相當於 $p=q=1$。如爲圓形膜片，運動方程式的解較複雜，其基音頻率爲

$$\nu_1=\frac{0.765}{2a}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

式中 a 是半徑。泛音不是諧音，除直線的節線外，還有同心圓的節線。最普通的膜片是鼓，圖 15 — 165(*a*)陳示六種振動模式。線代表波節，各圖的圓周都是波節。“ + ”號和“ − ”號代表相反的振動位移；在一瞬間，如＋的部分上升，則－的部分下降。留意各模式的頻率不是基本頻率 ν_1 的整倍數。圖 15 — 165(*b*) 是頻率為 ν_6 的振動情形，圖中所示位移為清晰起見，均加以放大。鼓實際振動時不會這樣劇烈。



(a)

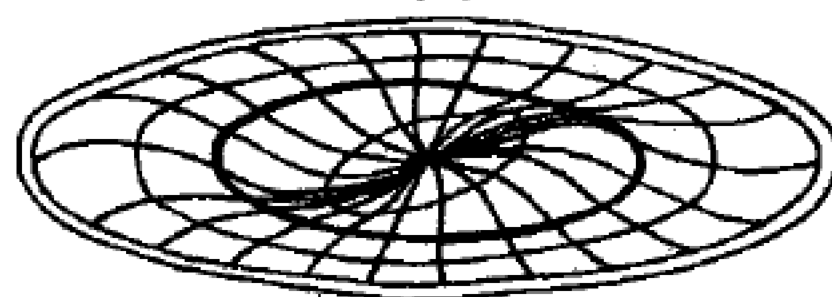

(b)

圖 15 — 165

【膜冷凝】(Film condensation)

膜冷凝時固體表面被一層凝結液遮蓋，此時熱由汽體穿過此層液膜 (*liquid film*) 而傳至固體上。

【膜沸騰】(Film boiling)

膜沸騰時，容器表面被一層薄薄的泡膜 (*bubble film*) 所遮蓋，而使容器和液體不相接觸，因之它們之間溫差很大。不穩膜沸騰又稱之為過渡沸騰(*transition boiling*)其現象介於核沸騰與膜沸騰之間。

【蔡耳德定律】(Child's law)

二極管中屏極電流 I_b 與屏極和陰極間電壓 E_b 的 3 / 2 次方成正比。此關係即所謂的蔡耳德定律，表示如下：

$$\text{屏極電流 } I_b = KE_b^{3/2}$$

K 是一常數，由電極的幾何形狀決定，並且蔡耳德定律只是一個指南，在實際情況下並不完全準確。

參閱“二極管 (*Diode*)”條。

【蝴蝶式電容器】(Butterfly condenser)

動片形似蝴蝶之電容器，在極高頻率電路作平衡用。

【蝕數】(Eclipse number)

蝕一定發生於白道交點的前後，所以每隔6個月有一群的日、月蝕發生。月蝕限比日蝕限小，所以有時一年中都沒有月蝕，而日蝕必有兩次。最多的時候，一年有七次；其中月蝕兩次日蝕五次，或月蝕三次日蝕四次。二十世紀中，有日蝕228次，月蝕147次，共計375次，平均每年四次。

白道交點每年向西廻轉19°.5，所以太陽以346.62日遇到同一交點；這週期叫做蝕年 (*eclipse year*)。

19蝕年　＝6,585.78日

242交點月＝6,585.36日

223朔望月＝6,585.32日

由以上三式的關係就可以知道日月是以6,585日的週期，對於同一交點成同樣的位置；就是每6,585日有同樣的日蝕發生。這6,585日即18年11日的週期叫做沙羅週期 (*Saros cycle*)，一個沙羅週期的蝕數約70次，其中日蝕41次，月蝕29次；日蝕中，偏蝕14次，環蝕17次，全蝕10次。

【蝕變星】(Eclipsing variable stars)

大陵變星和天琴座β星型變星，又叫做蝕變星；它們的變光原因，可以認做是分光雙星 (*spectroscopic double stars*) 的蝕現象，是由雙星軌道面附近方向觀測所得的結果。大陵變星因為伴星是微光星，所以光度曲線 (*luminosity curve*) 是以正確的間隔，呈兩種的極小。天琴座β星的主星和伴星都是輝星，所以光度曲線是有兩個相等的極大和兩個略有差異的極小。若知道它們的光度曲線，就可以決定它們的軌道根數。

蝕變星約有300個，它們的週期自6時乃至29年。蝕變星以外的

變星界限不甚分明。變星總數已達 6,000 餘個。

【衝】(Opposition)

外行星(比地球至太陽更遠之行星)行至與太陽、地球成一直線時所在之時圈上位置或時間。

【衝力】(Impulsive force)

作用時間短，變化大之力。

【衝孔機】(Punch)

將紙條鑿穿之機械。

【衝量】(Impulse)

若在 t_1 至 t_2 這段時間內，有一力 $\vec{F}$ 作用於一質點或物體上時，則 $\vec{F}$ 的時間積分稱為衝量 $\vec{J}$，即

$$\vec{J}=\int_{t_1}^{t_2}\vec{F}dt$$

等於該質點或物體受該力作用後的動量變化。若該力大小及方向均不變，則 $\vec{J}=\vec{F}\Delta t$，$\Delta t=t_2-t_1$。

衝量與動量一樣，都是向量，而且具有相同的單位與因次。

【衝程】(Stroke)

在內燃機裏面，活塞所行的距離叫衝程。在汽油機中，一個循環包括六個過程，其中四個是需要作運動的，便稱為衝程：

1. 進氣衝程——活塞的吸入運動，把汽油蒸汽和空氣的混合物吸進汽缸內。外界壓力稍大於混合物的壓力，其差適足以造成加速，並克服摩擦。

2. 壓縮衝程——活塞的壓縮運動，將上述混合物壓縮，直到溫度及壓力增加許多。活塞運動時，會發生摩擦、加速以及因傳導造成的熱量流失。

3. 爆發——電火花使前述熱混合物迅速燃燒。燃燒生成物達到很

高的壓力及溫度，但是體積不變。這過程裏，活塞不曾移動。

4.動力衝程——燃燒的熱生成物體積膨脹，把活塞向外推，使溫度和壓力降低。這是活塞的動力衝程，也伴有摩擦、加速及熱傳導。

5.活門排氣（*valve exhaust*）——動力衝程末了時，前述燃燒產物的溫度和壓力，仍高於外界者。有個排氣活門使一些氣體逸出，直到壓力降至與大氣壓力相等。這過程中，活塞不移動。

6.排氣衝程——活塞對剩餘的燃燒產物，施以夠大的壓力（大於外界者），造成加速並克服摩擦，於是把該剩餘物幾乎完全排盡。這就是排氣衝程。

【衝擊擺】（Ballistic pendulum）

衝擊擺由一大木塊以繩懸掛而成。此裝置是藉量度子彈射入木塊後，木塊上升的高度而測定子彈的速度。

如圖15－166，一質量為M之大木塊，以二繩垂直懸掛。質量為m之子彈以水平速率v_i射入此擺，並滯留其中。若碰撞時間（子彈射入木塊至對木塊為靜止所需之時間）遠較此擺之擺動時間為短，繫繩於碰撞時仍近似垂直。故碰撞時此系統（子彈+擺）不受外力，且水平分量之動量守恆。碰撞後系統的速率v_f遠較碰撞前之子彈速率為小。碰撞後之速率極易量得，故碰撞前之子彈速率，可由動量守恆求得。

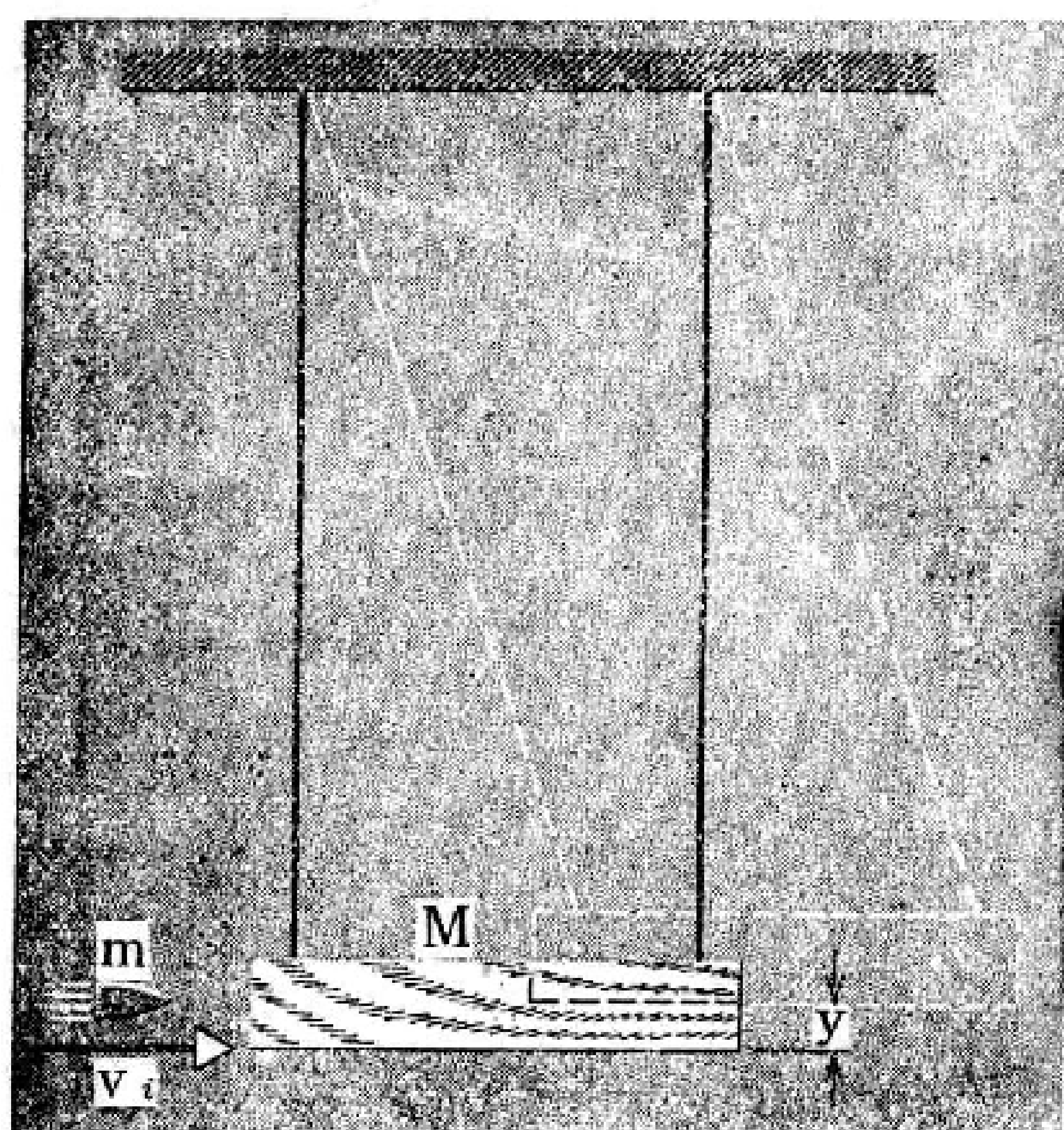


圖15－166
衝擊擺由質量爲M之大木塊，以繩懸掛而成。當質量爲m之子彈，以速度v_i射入，此木塊將擺動，並升高至最大距離y。

碰撞前系統的動量為mv_i，恰在碰撞後系統的動量為（m+

$M) v_f$，故 $mv_i = (m+M) v_f$

碰撞後，子彈連同木塊擺動至最大高度 y，此時碰撞後之動能轉換爲重力位能。應用機械能守恆原理於此部分之運動，得

$$\frac{1}{2}(m+M)v_f^2 = (m+M)gy$$

由此二式解得 v_i

$$v_i = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gy}$$

由量取 m、M 和 y，可求得子彈的初速率。

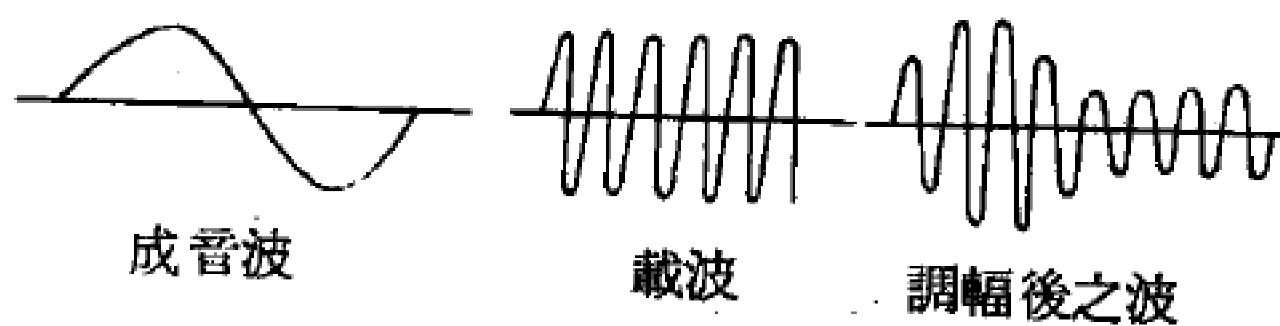
碰撞前子彈的動能爲 $\frac{1}{2}mv_i^2$，恰在碰撞後系統（子彈＋擺）的動能爲 $\frac{1}{2}(m+M)v_f^2$，比率爲

$$\frac{\frac{1}{2}(m+M)v_f^2}{\frac{1}{2}mv_i^2} = \frac{m}{m+M}$$

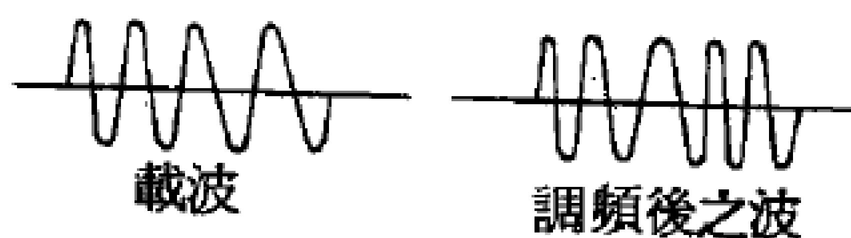
例如子彈質量爲 $m=5$ 克，木塊質量 $M=2,000$ 克，僅約 $\frac{1}{4}$%之原有動能存留，99%以上之動能皆轉換爲其他形式的能量，如熱能。

【調制】（Modulation）

使一波的特徵遵循另一波而變化，此種過程或所產生的結果稱爲調制。受調制的波稱爲載波（*carrier wave*），調制之波稱爲調制波。一般地說，這就是高頻振盪的某種性質按某一更緩慢的頻率而發生變化。



(a)



(b)

圖 15—167

這些變化的最簡單情況，是高頻振盪的幅度不爲定值，而隨作用於它的低頻振盪而變化，這

種情況叫做調幅（*amplitude modulation*），以區別於使頻率發生變化的調制，即所謂調頻（*frequency modulation*）或使相位發生變化的調制，即所謂調相。調制的用處，是借助於高頻振盪以將某種信號發送出去。低頻調制振盪相當於某種信號（如電報信號或某些聲音），所以已調制的振盪便攜帶著這些信號的形跡。利用復原過程（檢波），這些信號就可以從高頻已調振盪中分離出來。調制由專門的調制裝置或調制器來實現。在無線電廣播中，主要是應用調幅制（其他類型的調制用在專門場合裏）。振盪的幅度變化越大，則調制度越大。調制度（*degree of modulation*）m通常用百分率

$$m = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \times 100\%$$

來度量，且式中 I_1 和 I_2 分別表示振盪的最大幅度和最小幅度。

【調制放大器】（**Modulated amplifier**）

為調制信號介入使載波調變的放大級。

【調制度】（**Degree of modulation**）

聲頻電流與載波電流振幅之比率。

【調制特性曲線】（**Modulation characteristic curve**）

將聲頻加入載波時，如屬幅度調制，為了減少電波失真，調制器工作時應選在特性曲線的直線區域。

【調制器】（**Modulator**）

對振盪進行調制的設備。調制器的作用原理隨著所用調制的型式而不同。如果是調幅，調制器應當隨著調制電壓的變化而改變高頻振盪的幅度。為了這個目的，通常應用著單獨的電子管。電子管的工作，猶如一個高頻振盪的放大器，不過它所給出的放大是隨管子上所接調制電壓的作用而變化。由於這樣，經過電子管以後的振盪便是已經調幅的振盪。在三極電子管裏，調制電壓或是加到柵極（柵極調制），或是加到屏

極（屏極調制）。在多極電子管裏，調制電壓常常是加在電子管的其他電極上。

如果是調頻，調制器應按調制電壓的變化而改變高頻振盪的頻率。爲了這個目的，通常都是應用所謂電抗管。該管是一個電抗，在調制電壓的作用下，這個電抗的大小將發生變化。這個電子管接在被調振盪器的振盪迴路中，當它本身的電抗發生變化時，就會使被調振盪器的振盪頻率發生變化，同時也就使發射機所發射的振盪頻率發生變化。有時也採用一些別的比較複雜的調制設備來進行調頻。

由於調制器係連接至發射機需要調制的一級，它的輸出必須有相當大的功率，才能使發射機內要調制一級的屏極電流產生顯著的變化。爲達到這一要求，調制器的最後一級通常採用推挽式 B 類放大器。圖15—168所示的概略圖爲推挽式放大器的調制器。

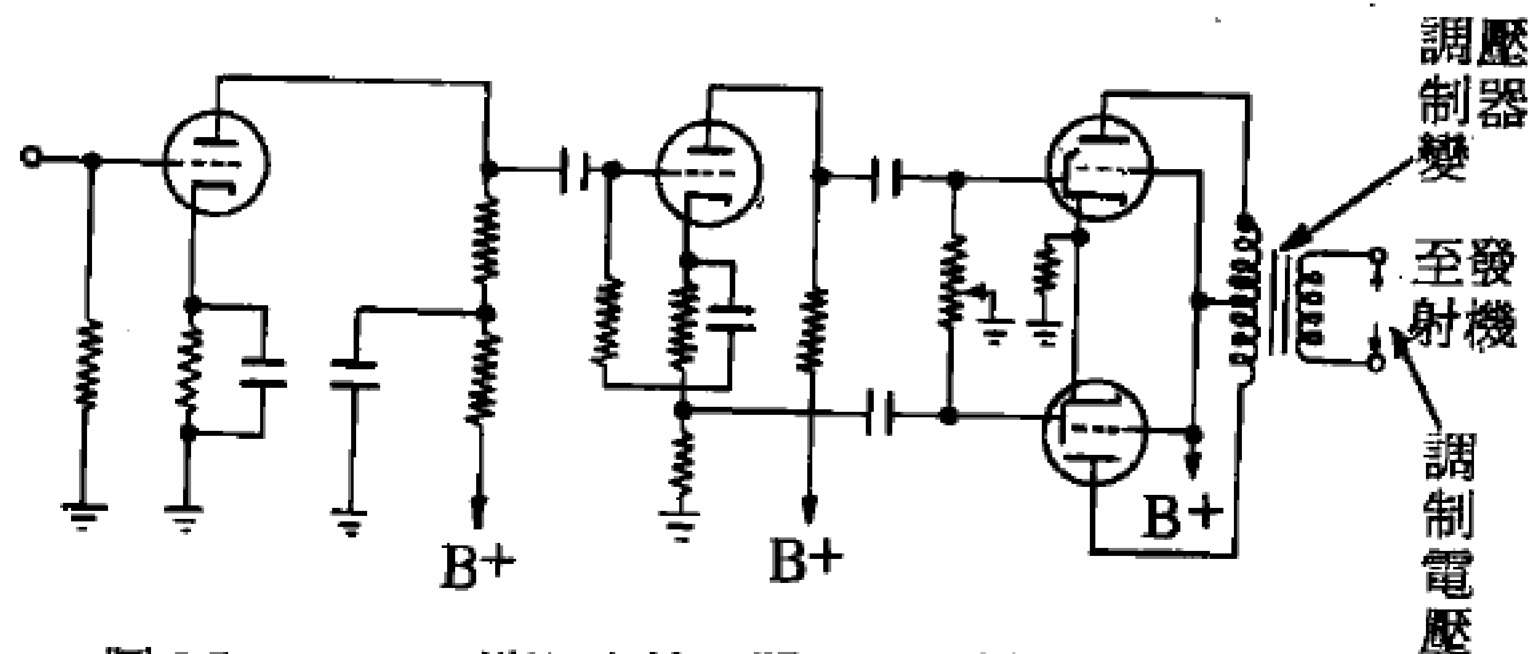


圖 15—168 推挽式放大器用作調制器

調制電壓可以串聯至電子管的任何一極。所以調制型式有好幾種名稱，視調制變壓器的二次繞組接至某一極而定。例如調制器的輸出串聯於屏極電路，則稱爲屏極調制。其他和三極管相接的調制型式計有柵極調制和陰極調制。如使用五極管，則有簾柵極調制或遏止極調制等型式。

【調制噪音】(Amplitude modulation noise)

因射頻信號波幅變更所成的雜音。

【調制稽核器】(Modulator monitor)

通常使用示波器擔任發射機的調制稽核，它是最可靠又最穩定者，因爲示波器可以作瞬時調制百分數連續稽核用。

【調柵反饋電路】(Tickler feedback circuit)

在電信工程的歷史上，最早的一個電子管振盪器是由阿姆斯壯(*Major Armstrong*)所設計，稱爲調柵反饋振盪器(*tickler feedback oscillator*)，電路可見圖 15－169。

圖 15－169 的振盪器中，振盪槽路由電感L_1及電容器C_1所構成，直流電能是由屏極直流電源E所供給，反饋電路是由一個電感線圈L_1耦合的反饋線圈(*L - tickler coil*)所形成，電容器C_1是一個可變電容器，僅需調節可變電容器，就可得到所需之振盪頻率。旁路電容器跨接於屏極直流電源E，對屏流的交流成分供給一低電抗路徑。由電阻R及電容器C所合成的控制柵電路，稱爲柵漏電路，此電路有自動調節控制柵偏壓的功用。在電報傳送時，可利用電鍵(*key*)，按照一定的電碼使振盪間斷。

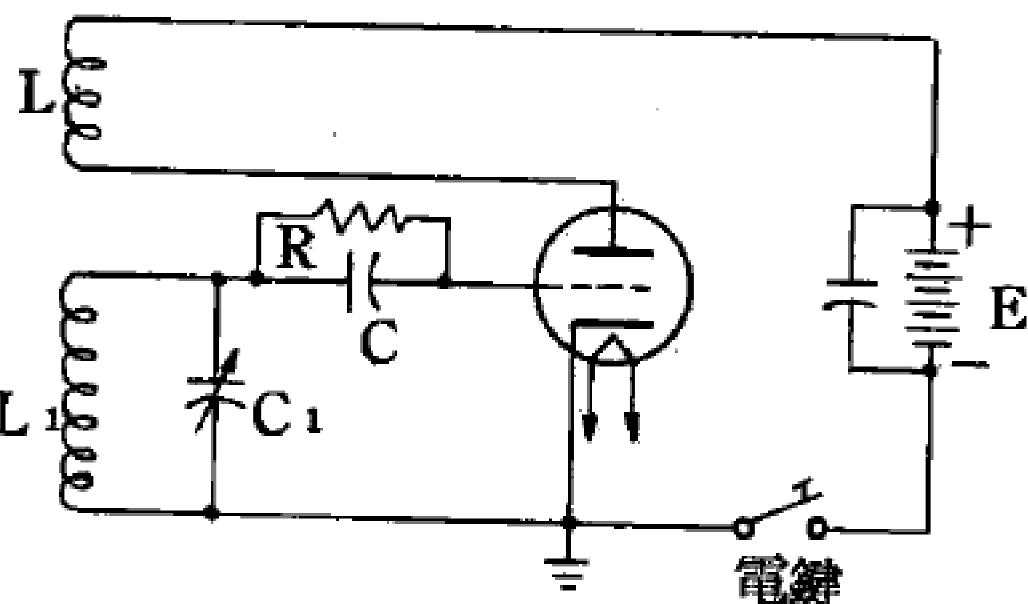


圖 15－169 控制柵反饋振盪電路

一旦線圈電容器C_1槽路發生振盪，即有一放大振盪電波在電子管屏極電路出現。部分屏極電路所構成的能量，由反饋線圈L藉電感線圈L_1的感應，送到槽路(L_1 － C_1)，以補償損失，就可達到自助振盪的目的。電子管屏極電路的輸出與控制柵的輸入反相，同時反饋線圈L與電感線圈L_1間又是反相，因爲反饋到槽路的電壓與控制柵電路電壓同相位，所以是正反饋。

只有一變化磁場，才能使磁場中的線圈產生感應電壓。磁場強度正在增加的磁場，就可感應一個適當極性的電壓；如果有一反方向的磁場存在，感應電壓的極性也相反。

假設三極管的陰極已受熱，並且放射電子。當電鍵接通的一瞬間，電流即開始在電子管與外電路的反饋線圈L及電池E中流動。此電流在

反饋線圈L周圍形成一個繼續增加的磁場，因此槽路線圈L_1中因感應而得一感應電壓。如果所感應的電壓為正，即槽路（L_1-C_1）上端的電壓極性為正。此正電壓向電容器C_1充電，因此與槽路（L_1-C_1)上端相連接的控制柵則帶有正電荷。由於控制柵在最初並無偏壓存在，所以此正電荷就使三極管的屏極電流增加，也就使反饋線圈L所產生的磁場強度增大，再使槽路線圈L_1的感應電壓也增加，所以繼續對電容器C_1充電，得更大的屏極電流。如此循環的影響，在純理論上說，這種程序可繼續發生，一直到屏極電流達到飽和時為止，當屏極電流達到飽和，線圈L所產生磁場的強度即停止增加，整個電路的作用都呈現穩定的狀況。

當反饋線圈L所產生的磁場停止增加時，在線圈L_2中所感應的電壓開始下降，以至於零。但電容器C_1已被充電到一最大電壓的情況，所以現在就開始向反方向放電，使得槽路（L_1-C_1）上端的電壓由正變為零，再變為負電壓，控制柵電壓也同時變為負電壓，屏極電流隨之下降，當屏極電流下降時，反饋線圈L的磁場使槽路線圈L_1所生的感應電壓為負。此負電壓更促使電容器C_1放電，因而使控制柵電壓降得更多。屏極電流也繼續下降，再得更大的控制柵之負電壓，繼續屏極電流降低，如此繼續循環的影響。一直到截止情況發生，反饋線圈L的磁場消失，槽路線圈L_2的感應電壓變為零，控制柵電壓則由負也變為零。由於截止發生後，控制柵電壓已比截止時的電壓高，屏極電流開始增加，另一週的振盪也就開始發生。

此種振盪程序的發生與完成是非常快的，在一極短的時間內，此振盪已重複千萬次了，振盪的頻率完全取決於線圈L_1與電容器C_1兩者的大小。特別要注意的是，如果電子管的放大或反饋能量，不足以補償槽路本身的能量損失時，振盪將停止。反饋的能量與槽路線圈L_1及反饋線圈L間的互感，有絕對的關係。如果線圈間的距離太大，互相耦合的能力減弱，如果由於距離的增大，使互感小於某一臨界值時，自助振盪就

會停止。

柵漏偏壓是由柵漏電阻R及電容器C所構成的電路，就可向電子管提供所需的偏壓（圖15－169）。柵漏偏壓（並非由陰極電阻所造成之陰極偏壓），用在三極管振盪器中，可以保證振盪器作用的穩定，並使振盪器自動開始振盪。電容器C的值極大，足以讓任何激發信號通過（即其容抗很小，能成一自由通路），因而成為高柵漏電阻R的旁路電容。在振盪的正半週期時，控制柵電壓為正，所以在控制柵電路上有控制柵電流存在。電流由控制柵流向陰極經外電路的電感器L_1及電阻 R，而在電阻R兩端產生一電壓降，因此與電阻R相連接的控制柵電壓，對電阻R另一端而言，是負電壓，所以控制柵的偏壓就等於電阻R的電壓降，當控制柵電流向電容器C充電時，電阻R的端電壓仍然存在。如果電阻R及電容C的值都相當大，所以在無控制柵電流存在的負半週振盪時，電容C上的電荷，經由電阻R放電的速度非常小。因此，在應用上，振盪的一週內，電容C的端電壓，幾乎保持不變，所以電子管能夠有一相當穩定的偏壓存在。

也可利用柵漏偏壓，使振盪器產生自發振盪（*self - starting*），因為控制柵偏壓最初是零，如果屏極電流及放大能力都夠大的話，在電鍵（圖15－169）接通的一瞬間，一脈衝（由電鍵關上所引起的）立刻被電子管放大，振盪就開始發生了。此種振盪器，只需要很微小的能量刺激，就可以使其產生振盪。

【調柵振盪器】（Tuned grid oscillator）

振盪器之頻率是由柵路中之諧振電路決定，該電路又與屏路耦合取得必需之反饋。

【調柵電路】（Tuned grid circuit）

電子管的輸入電路具備調諧電路者。

【調相發射機】（Phase modulation transmitter）

無線電發射機發出之電波是調相波。

【調屏電路】(Tuned-plate circuit)

電子管的輸出電路具備調諧電路者。

【調屏調柵振盪器】(Tuned plate tuned grid oscillator)

調屏調柵振盪器，簡稱爲*TPTG*。此電路，在屏極及控制柵電路都有槽路存在，(圖 15 — 170)。線圈 (L_1 及 L_2) 間並無電感的耦合關係存在。反饋的發生完全藉控制柵及屏極間的極間電容 C_{gp} 所達成。爲了得到正確的振盪頻率，控制柵槽路與屏極槽路的振盪頻率都必須調得比所需的振盪頻率高，此種線路之優點爲手續簡便，振盪穩定。

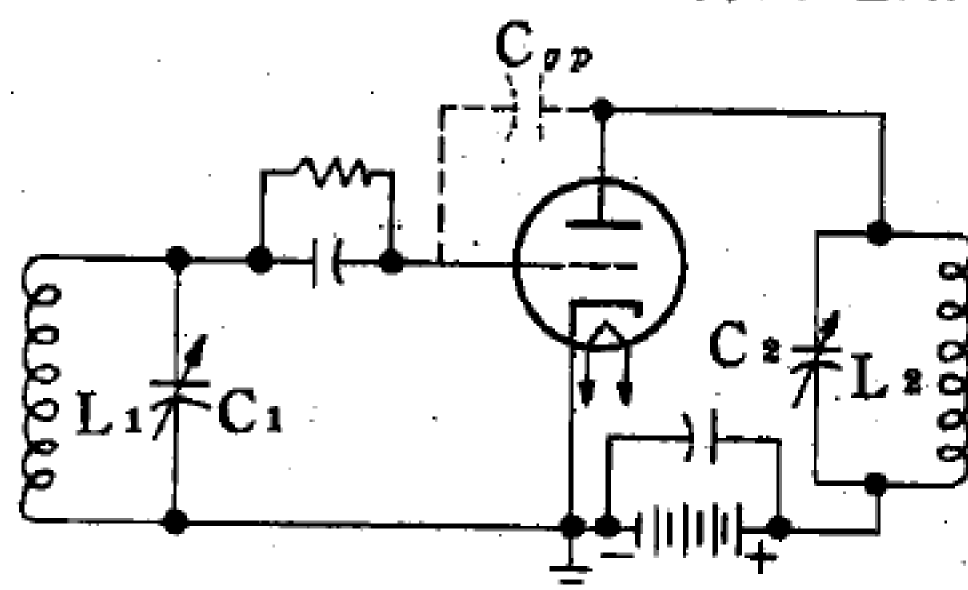


圖15—170　調屏調柵電路

【調速電子管】(Klystron)

在三極管中，電子的速度必須很快，才能夠在極短的半個波動時間裏，由陰極進行到柵極。不過在微波範圍中，由於電壓的交變已經快得使電子無法跟上，甚至把陰極和柵極間距離盡量縮小也是枉然。

而這項限制，使得微波通訊發展上受到了很多年的阻礙。到 1938 年調速電子管發明以後，才呈現一種新的景象 (*klystron* 是希臘 *klyzein* 字而來的，意思是在海邊上波浪的減弱)。調速電子管放出之輻射屬於微波範圍，大致波長在 1 *mm* 至 1 *cm* 之間，在一定的電壓放出一定的單一波長的微波，變換電壓即可改變放

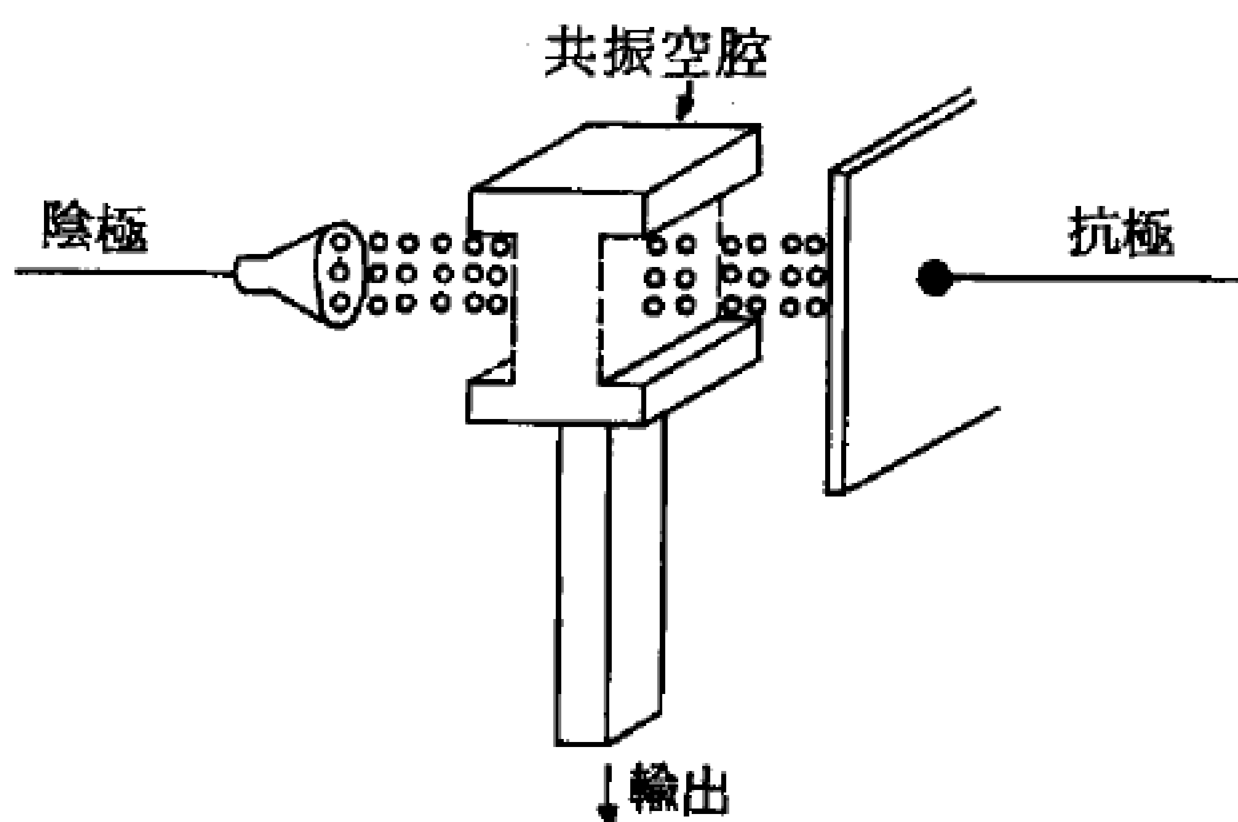


圖 15—171
調速電子管能促使電子流與電波在共振空腔中交互作用以放大電波

出微波的波長。

此電子管如圖 15 — 171 所示，調諧空腔（ *tuned cavity* ）之作用和聲波之對於開管極爲相似，目的是引起共振現象。在共振的同時，我們促使一束能量強大的電子流迅速通過空腔。於是二者（電子與共振波）發生作用，使得電子的密集與稀疏隨著電波的波峯與波谷一致變化。這樣一來，電波就吸收了電子的能量而得以放大。

【調速管振盪器】（ Klystron oscillator ）

調速管（ *klystron* ）是利用大量電子在管中的過渡時間內將其運動能量，傳遞給一個交流電壓所產生的電場，而產生振盪。振盪產生的條件，必須是電子傳給交流電場電源的能量，大於電子從此電源取得的能量方可。能量的傳遞，有賴陰極放射電子所形成的電子群（或稱束），在適當的時間將能量傳給捕捉極（ *catcher* ），並與交流電場的變化同步，此種能量傳送的原理，稱爲調速（ *velocity modulation* ）。

像一般的振盪器一樣，調速管所激發的振盪頻率，也是取決於諧振電路（槽路）。但在微波頻率時，通常的電感電容（ *L - C* ）槽路則由微波電子管內的共振腔（ *resonant cavity* ）所代替。共振腔的體積大小可決定振盪頻率的高低。一脈衝電子流，可以在共振腔中激起振盪作用，這與一個屏極脈衝電流可激起屏極槽路的振盪相同。

圖 15 — 172(*a*)是一個調速管的概圖。在調速管的一端是電子槍，電子槍與陰極射線管所有的電子槍一樣，管內主要包含了一個陰極及一個加速柵極（ *acceleration grid* ）。電子由熱陰極放出，受加速柵極正電場的吸引，向此柵極運動。但大多數的電子均穿過加速柵極，形成一個電子束，然後電子束穿過由一對柵極所構成的聚束柵（*buncher*）。聚束柵的兩個柵極連在電路的兩端，在諧振電路上有一外加交流電壓，外加交流電壓可使穿過聚束柵的電子速度增加或降低。關於電子速度的增加或降低，完全要看電子進入聚束柵兩柵極間的時間而定。如果當一

個電子到達聚束柵兩柵極的中央時，交流電壓正好是零，則此電子的速度不變。電子通過聚束柵時，交流電壓爲負，則電子的速度就被降低，反之，交流電壓爲正，則電子的速度就增加。此種作用，可使通過聚束柵的電子集中於一點，使電子流形成一束一束的，束與束間，僅有很少的電子存在。

這些集中成束的電子，再穿過第二對柵極所構成的捕捉極（*catcher*）。捕捉極也聯在一個諧振電路上，並且捕捉極兩柵間電場極性的安排，必須與通過捕捉極之電子配合，使電子放出其所具有的動能，給予捕捉極之電場，以傳給諧振電路，最後放出能量而速度降低的電子則被帶正電壓集電極（*collector*）所吸收。電子束是以捕捉極諧振電路的諧振頻率，通過捕捉極，也就是在諧振頻率的每一週，通過一束電子，因此可使諧振電路能夠繼續維持振盪作用。並且捕捉極從電子所得的部分能量，以適當相位反饋給聚束柵的振盪電路（圖15－172(*b*)），因此產生自勵振盪。此種調速管可做放大器或混頻管（*mixer*）用。

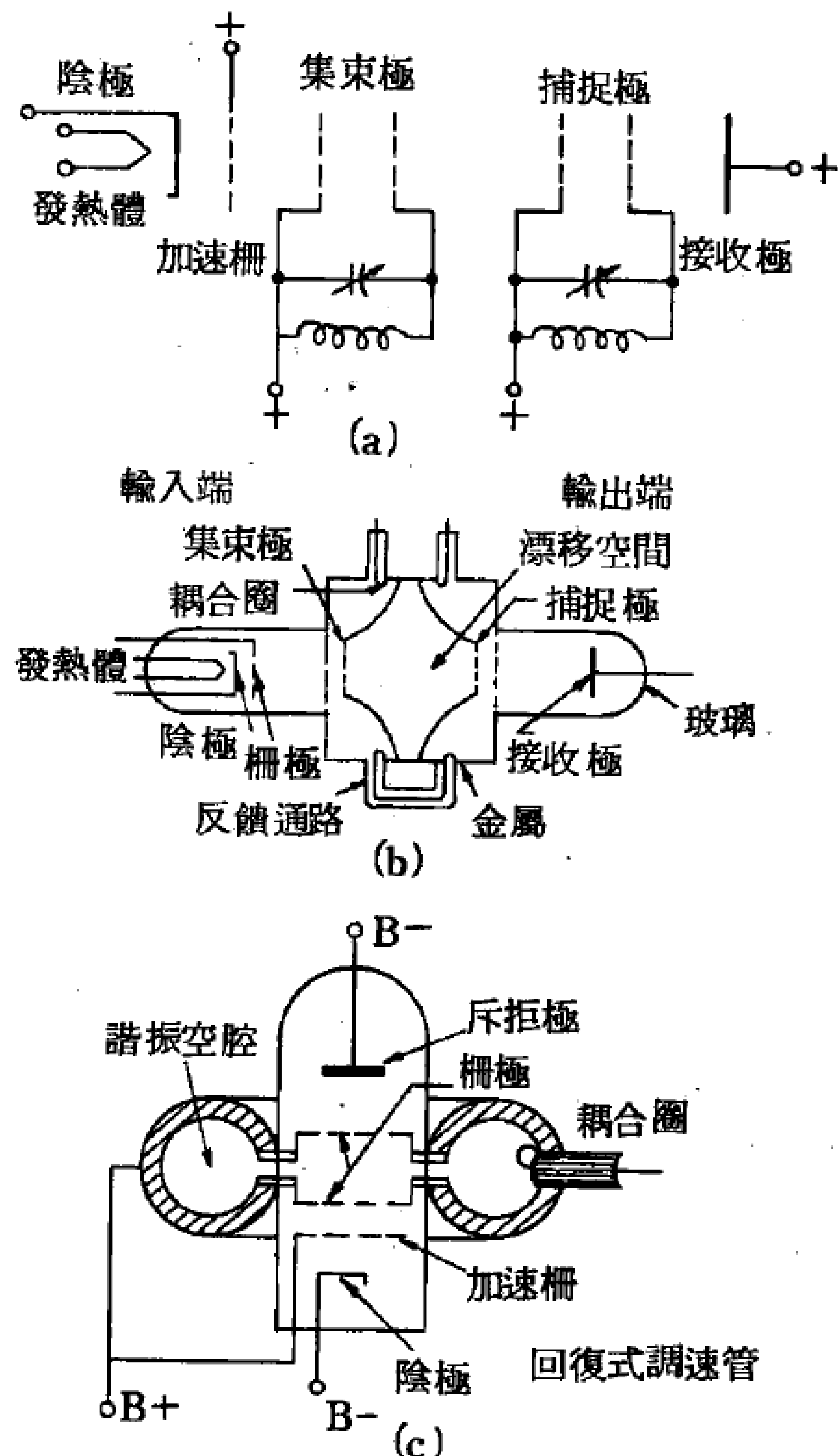


圖15－172　調速管振盪器

聚束柵及捕捉極的諧振

電路既可用空的金屬腔，也就是所謂的共振腔代替，同時只需將聚束柵（及捕捉極）的兩個柵極接在空腔的兩邊就可(如圖 15 — 172(*b*))。此種空腔具有一般電感電容（*L* - *C*）諧振電路的一切特性，並且作用在微波頻率時，其效率更高。由於作用頻率極高，而空腔體積又非常之小，所以空腔封在調速管的殼內。由空腔放出或吸收的能量，都是靠空腔中的單圈線圈所達成。

圖 15 — 172(*c*)是一個能作振盪器用的簡單調速管，其聚束柵與捕捉極共有一對柵極。在此所謂的回復式調速管（*reflex klystron*）的一對柵極後面，另有一斥拒極（*repeller plate*）存在。當電子由陰極放出後，經過加速柵，再經過一對柵極。電子第一次經過此對柵極時，此一對柵極則具有聚束柵的柵極作用，電子通過以後，受斥拒極的排斥，電子又向反方向運動，再經過此對柵極，此時柵極則具有捕捉極的柵極作用。回復式調速管只有一個共振腔，所以比較容易調節。

【調幅】（Amplitude modulation；A.M.）

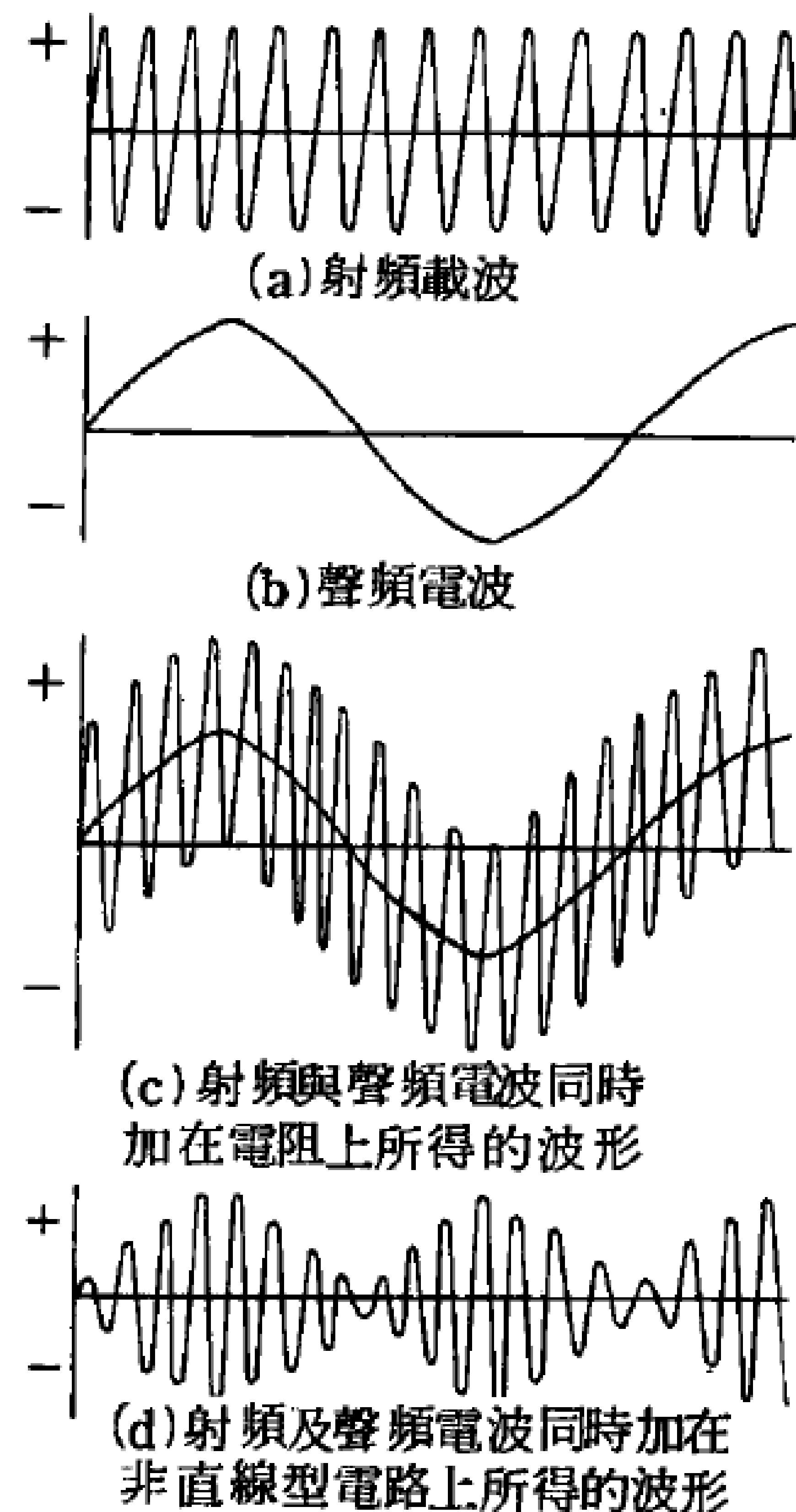
調幅是藉聲頻信號或視頻信號的強度（大小），以變動射頻載波的振幅。由單一聲頻電波所形成之振幅調制，如圖 15 — 173 所示。假設，圖15—173 (*a*)爲 1 仟赫的載波，圖 15 — 173(*b*)爲 1 仟赫（*KHz*）的單音。如果將載波及單音的聲頻電波同時加在一個電阻上，其合成的波形則如圖 15 — 173 (*c*)所示，此時載波的振幅完全沒改變，只是其每週電波之瞬間極性有連續的改變而已。顯然的，這並非振幅調制，一無線電接收機無法判定這種信號的瞬時極性，所以也無法播出聲頻信號來。

圖 15 — 173(*a*) 是所欲之已調幅載波，此種已調幅載波是將載波與聲頻電波同時加在一電路上，但電路的電流與所加的電壓不成正比關係，也就是此電路不能以歐姆定律來解釋。因爲電路電流對電壓的曲線非

一直線，通稱爲非直線型（*non-linear* ）。爲達到調幅的目的，必須利用非直線型電路，也可以用數學證明，一調制器（*modulator* ）必定是一個非直線型電路。

功率放大器的失眞，是由非直線的電子管特性曲線所引起。在意義上，也可將振幅調制當作振幅失眞來看，所以造成此失眞或調制，必須要一非直線型電路。再者，當電子管作用於特性曲線的非直線部分時，電子管可說是一個理想的調制器。

振幅失眞是由原來新頻率所造成的。同樣的事實也發生在振幅調制，只需改變電波的振幅（圖 15－173），但必須藉產生一些額外頻率才能達到調制的目的。這些額外頻率等於載波頻率與聲頻電波頻率的和與差。圖 15－173 (*d*)是僅由兩個額外頻率的電波所形成的調幅載波，一個是 1,001 仟赫，也就是等於載波頻率1,000仟赫與聲頻電波頻率1仟赫的和；另一個是 999仟赫，也就是載波頻率 1,000仟赫與聲頻電波頻率 1 仟赫的差。1,001 仟赫的頻率，稱爲高旁頻率（*upper side frequency*），999仟赫之頻率則被稱爲低旁頻率（*lower side frequency*）。



(a)射頻載波

(b)聲頻電波

(c)射頻與聲頻電波同時加在電阻上所得的波形

(d)射頻及聲頻電波同時加在非直線型電路上所得的波形

圖 15－173

在無線電波廣播方面，調制載波的聲頻電波頻率範圍可達 10,000 赫，每一聲頻電波頻率都能產生一個高旁頻率及一個低旁頻率，因此各聲頻頻率所產生的總高旁頻率與總低旁頻率，就形成兩個頻帶，一爲高旁頻帶的最高頻率達 1,010仟赫（對 10,000赫聲頻電波而言），低旁

頻帶的最低頻率達990仟赫。因此藉1,000仟赫載波以播送聲頻頻率達10仟赫範圍內的電波時，發射頻道之頻帶寬度必須有20仟赫（從990仟赫到10,104赫），或者說需要最高聲頻頻率（或稱調制信號頻率，因爲聲頻信號，在調制作用方面，就是一個調制信號）的頻帶寬度（圖15—174）的兩倍。這不只對聲頻電波而言，就是對視頻電波的傳送，也是如此。同時，就一般頻道的總頻帶寬度言，也都是所需傳送信息電波頻率寬度的二倍。但單旁頻帶（*single side band*）傳送法是一例外，單旁頻帶傳送信息是利用振幅調制兩個旁頻帶中的一個，但此種系統主要是用在越洋無線電話及業餘無線電方面。

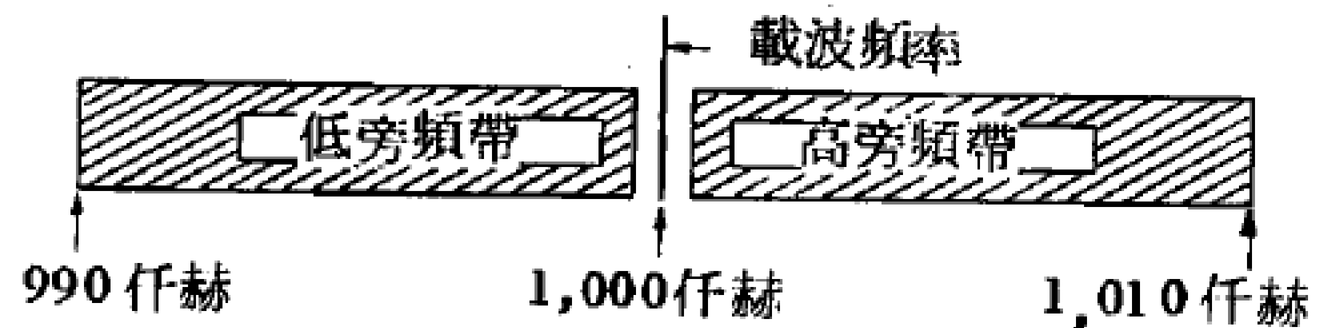


圖15—174
由10仟赫振幅調制所得1,000仟赫載波的旁頻率

由此可知何以發射機及接收機的調諧放大器，不只通過射頻載波一個頻率而已，必須能通過整個（包括聲頻電波的所有頻率）頻帶寬度方可。爲了能從已調幅的載波獲得信息，所有的發射機及接收機電路，必須能通過具有高旁頻帶及低旁頻帶的全部頻帶。調諧電路必須具有選擇能力，使所需的頻帶通過，並排斥不需要的頻帶。

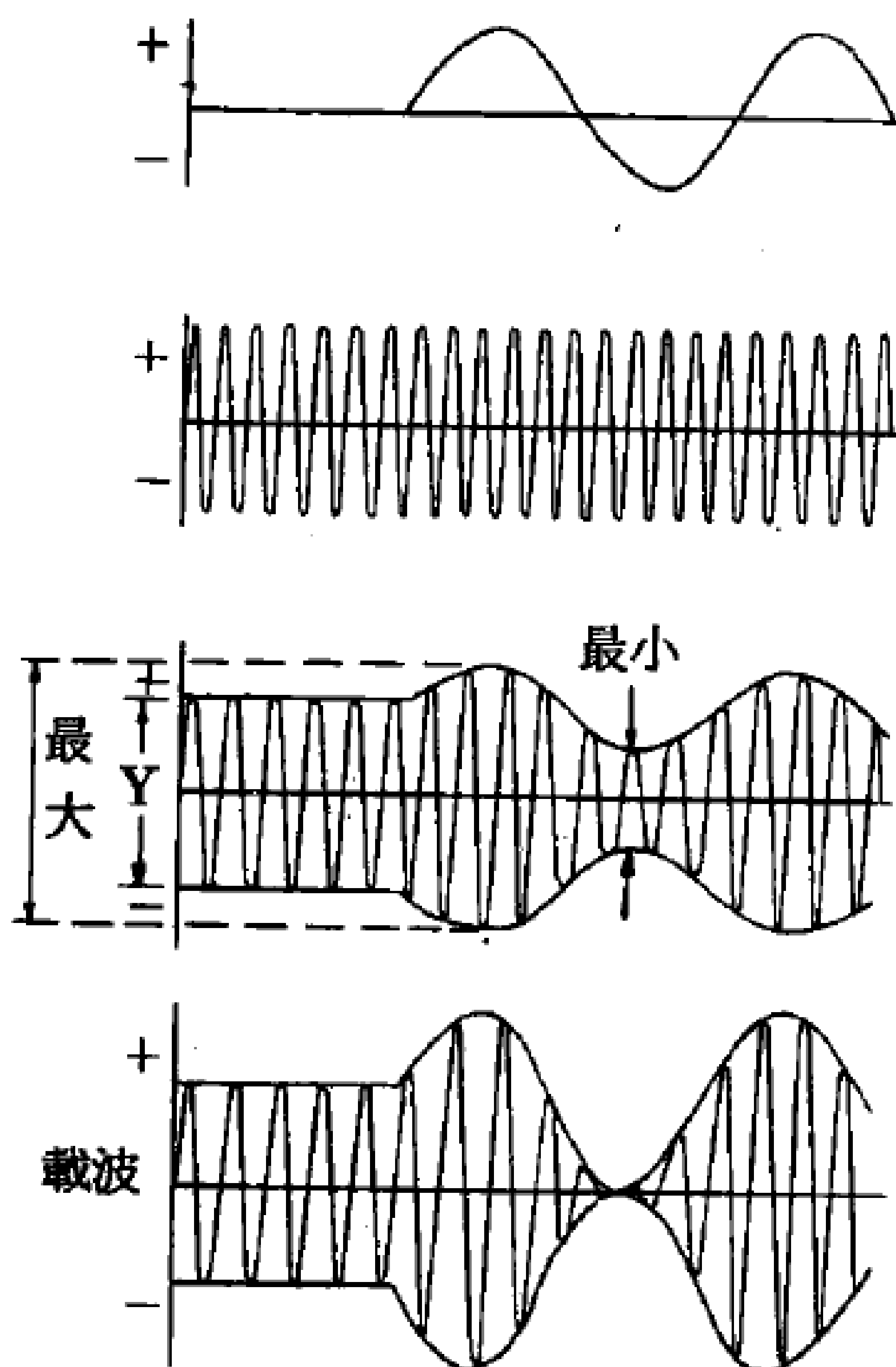


圖15—175　不同調變深度的調幅載波

只討論一些對載波振幅變化的原理還是不夠。調制的程度是一個非常重要的因素，因其可決定被傳送的信號強度及特質。圖15—175

是各種不同程度調制的載波。圖 15－175(a) 是聲頻調制信號電波。圖(b)是未被調幅的載波。調制深度很低的已調載波則示於圖 15－175 (c)，已調載波的振幅大小變化，完全隨聲頻調制信號的變化而改變。但其振幅變化的程度較小。接收機的檢波器之輸出，只對載波的振幅變化有相應變化，而對載波的絕對大小無關。已調制載波的調幅程度很小時，聲頻信號將不會太大，並且此信號可能會被較強的雜波所遮蓋。如果調制深度大，聲頻信號一定非常強而又清晰。

圖 15－175(d)的射頻載波，已經被調制到最大的可能程度，振幅的最大值，是原來未經調制前載波振幅值的二倍，爲百分之百的調幅。如果調幅信號（即聲頻信號）電波的振幅再增大的話，所接收的信號電波，將產生失眞的現象。

已調幅載波調制深度的最適當表示法，是用未調幅前，正常載波振幅的百分率來表示。只要已知調制信號（聲頻信號）電波與載波兩者振幅的相對大小（如圖 15－175 所示），就可從下列關係算出調變深度的百分率（圖 15－175）

$$調幅百分率 = \frac{MAX - Y}{Y} \times 100 \text{或} = \frac{Y - MIN}{Y} \times 100$$

上式所用的 Y 等於原來載波（圖 15－175(b)）振幅的二倍。

如果調制信號（聲頻信號）電波是一純正弦波（如圖 15－175 (a) 所示），上兩式所算得的結果必相等。如調制信號電波本身歪扭，上兩式所得的結果就不等，通常都用百分率較大的。

例如調幅百分率爲 100%（如圖 15－175 (d) 所示者），最大值（MAX）是 Y 的二倍，或者說最大值等於 $2Y$，此時的最小值（MIN）爲零，因此將此條件代入上面的關係式，可得

$$調幅百分率 = \frac{2Y - Y}{Y} \times 100 = 100\%$$

或

$$調幅百分率 = \frac{Y - 0}{Y} \times 100 = 100\%$$

【調幅百分數】(Modulation percentage)

調幅之優劣，依交流幅變化之大小，表示交流幅變化之大小者，稱爲調幅百分數。玆以算式表之如次

$$\%M = \frac{I_m - I_c}{I_c}$$

式中 I_c 爲未調幅之主振幅交流。I_m 爲調幅波最大交流値(正半週調幅波峯)或調幅波最小交流値(負半週調幅波峯)。$\%M$ 爲調幅百分數。

【調幅收音機】(A. M. radio)

普通的收音機，大多是調幅式。收音機靈敏度大者能接受遠地之弱小訊號、選擇性佳者能區別鄰近電臺、傳眞度優者毫不失眞、頻率穩定性強者收聽時可減少隨時調節之勞，此爲收音機四大特性。可分爲：

1. 礦石收音機——由電容器及線圈構成之諧振電路及礦石、耳機等組成之；構造簡單，不需電源，各方傳來電磁波中，與諧振線路頻率相同者，方經天線進入收音機。由於礦石具單向傳導性，故有檢波作用，能檢出原來成音訊號，以備耳機收聽。然礦石無放大作用，故靈敏度極低，輸出極小，僅能收聽本地電臺。

2. 再生式收音機——以三極管代替礦石檢波，聯成再生式檢波電路，即成單管再生式收音機。靈敏度較礦石式略佳。通常則爲三管再生式收音機：由天線收入之調幅波訊號，先經第一管高放(高頻放大)，第二管再生檢波，得低頻訊號，然後再經第三管低放輸出。靈敏度、選擇性皆比單管再生式爲佳，但仍不易接受極遠處之弱小訊號。

3. 超外差式收音機——爲最好之收音機，其靈敏度、選擇性、傳眞度及頻率穩定性均較再生式爲優。玆分述其構造如次：

(1)高頻放大——將天線輸入之調幅波放大，與再生式所用之高放級

相同。爲存眞，用甲類放大。高放一級或二級，但亦有不用高放者，用高放可增加收音機之選擇性及靈敏度。

(2)差拍及第一檢波——過去用兩管，現在用五柵複合管構成之，其一部分產生略低或略高於高放輸入訊號之振盪頻率，而使兩者之差拍頻率保持一定；例如接受頻率爲5,000,000赫，則振盪頻率爲5,000,000±455仟赫，若兩者差拍即得455仟赫之中頻 。另一部分即擔任混波差拍作用。混波差拍亦稱第一檢波，只將載波高頻變中頻，仍由原來成音訊號調幅。

(3)中頻放大——將差拍所得中頻調幅波放大之。常用中頻如175或455仟赫，頻率固定。放大時輸入與輸出皆用中頻變壓器，構成甲類放大，可增加靈敏度及選擇性。中放二級或三級，至少一級。

(4)第二檢波及*A.V.C.*——以中頻輸出送至雙極管，檢波後得成音訊號之低頻，這叫第二檢波。然後低頻放大。中途經一電位控制器，即普通收音機旋扭刻有"*Volume*"或"*A.F. Gain*"之處，藉以調節音量大小。"*A.V.C.*"意即自動音量控制。若收音機能收聽微弱訊號，而且音量適中，不過強或過弱，則對於強大訊號必感覺刺耳。"*A.V.C.*"裝置能比照訊號強度，產生一負電壓，供給前面高放或中放之柵極，以自動節制過強之輸出音量。但對弱小訊號，亦有若干損失，除非用一種"*D.A.V.C.*"，遲延其自動控制音量之作用。第二檢波與"*A.V.C.*"常用一複合管。

(5)低頻放大及聽筒、揚聲器——第二檢波輸出之低頻成音訊號再經放大。方送至聽筒或揚聲器，通常兩級或三級，是爲低放。市面五燈收音機：第一管混波差拍，第二管中放，第三管第二檢波、*A.V.C.*及第一低放，第四管第二低放輸出，另一管整流供電。最後級低放亦有用兩管推挽式放大者。

(6)收音機電源——直流式*A*、*B*皆乾電池或蓄電池供給。交流兩式

，用變壓器者以各種適當低壓供各級眞空管燈絲發熱，以高壓經整流濾波供屏極等。有不用變壓器者，眞空管燈絲電流相同，皆串聯，恰等於市電電源電壓，屏壓等亦直接以電源電壓整流濾波供給之。

【調幅法】（Modulation methods）

使振盪高頻率電流幅度，如聲音一樣的變化，稱爲調幅法。其種類甚多，大別之，約有五種：(1)天線電流吸收之調幅（*antenna current absorption*）；(2)柵偏壓調幅，柵電壓變化之調幅（*grid bias modulation*）；(3)海心式或屏極調幅；(4)簾柵極調幅（*screen grid modulation*）；(5)遏止柵極調幅（*suppressor grid modulation*）。

【調幅波】（Modulated wave）

經調幅過的電磁波叫調幅波或載波（*carrier*）。

【調幅波之包覆】（Modulation envelope）

調幅波載波正負兩向之輪廓，普通代表聲頻的振幅。

【調幅發射機】（A.M. transmitter）

用無線電話發射機以發送語言或音樂，就必須使射頻載波依照所需傳送的聲音，予以頻率調制或振幅調制後方可輸出。所謂振幅調制，就是使射頻載波的振幅，隨聲頻信號強度而變化的一種程序。也就是利用傳聲器或相類似的設備，先將聲波變爲同頻率的電波，再經放大，然後將其加在射頻功率放大器的屏極或控制柵上。關於此種系統的射頻信號的產生、放大以及頻率的增高等，與等幅波射頻信號的產生、放大以及頻率的增高完全相同，甚至於可利用同樣安排的發射機以達發射目的。所不同者，只是需要再加傳聲器及聲頻放大器（調幅器），使射頻載波的振幅，隨聲頻信號的強度而變化。

圖 15 — 176 爲調幅式無線電話發射機的基本方塊圖。音叉或其他聲源所發生的聲波，經傳聲器變爲電波的波形，都已顯示在各級的上方

(圖 15 — 176)。

聲波由傳聲器變爲聲頻電波後，經一般的聲頻放大器予以放大。如

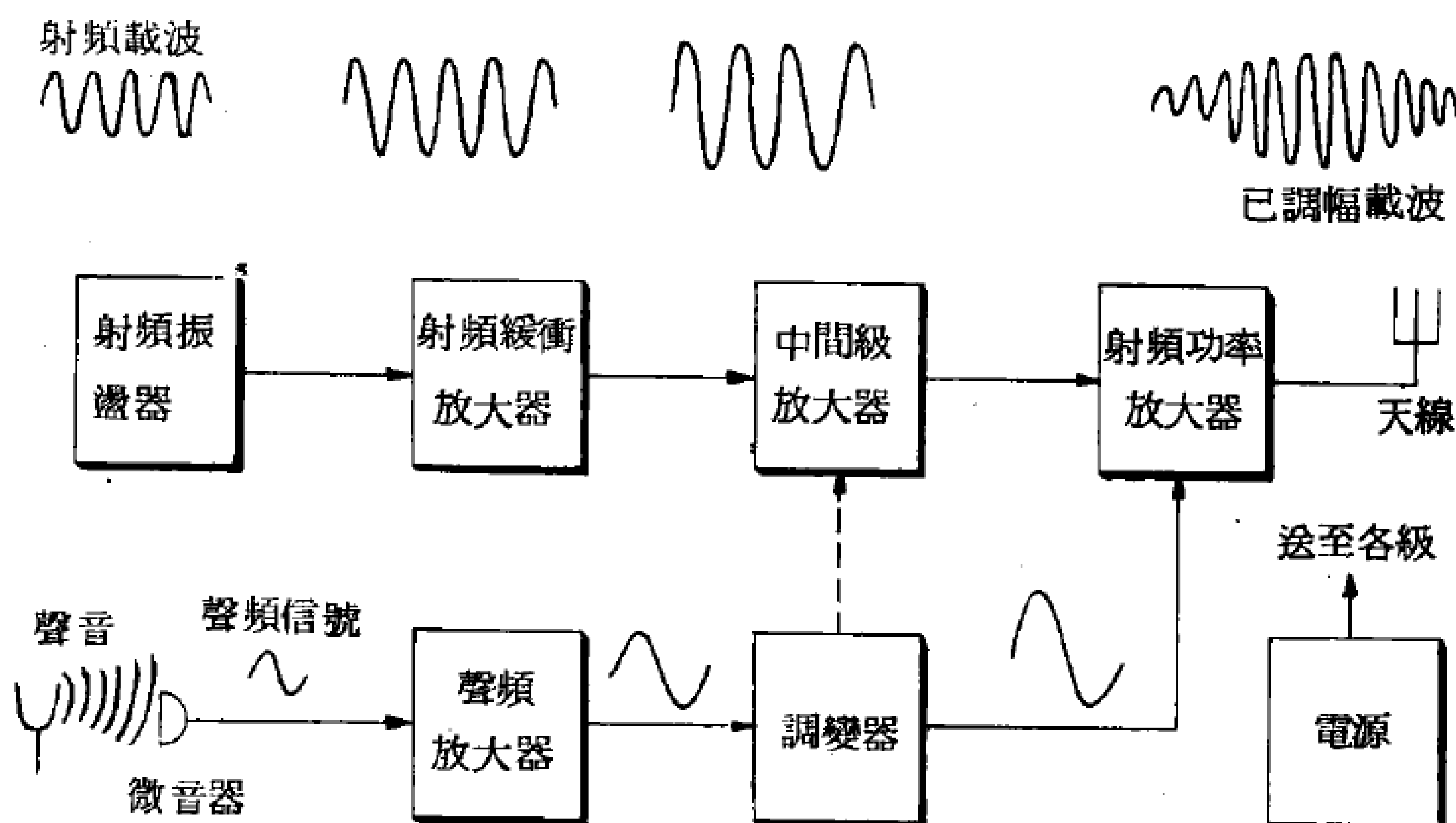


圖 15 — 176 調幅無線電話發射機的方塊圖及波形

爲屏極調幅式，調制器的功率就等於發射機輸出功率的一半，並且調制器的輸出功率從調制變壓器，加在發射機最後一級的功率輸出放大器(高階調制)，或加在中間級的射頻放大器(低階調制)上(圖 15—176 虛線箭頭所指的位置)。關於射頻部分，完全與等幅波發射機相同，其中包括有振盪器、緩衝器、中間級放大器、最後一級的功率輸出放大器，以及天線與供應發射機所有各級電源的電源供應器。

【調幅檢波器】(A . M . detector)

已調幅載波振幅的大小，隨聲頻調制信號電波而變。調幅檢波器必須將此隨聲頻調制信號變化的已調幅載波之振幅，從載波上分離出來，並且將射頻載波除去。檢波程序的第一步，是將已調幅載波先予以整流，也就是先將其負半週的電波消除。此種整流是必要的，否則載波振幅的正負峯值將有相互抵銷作用 。檢波程序的第二步，是消除載波的射電頻率，因此只留下聲頻信號頻率，關於此一步，可藉濾波電路來完成

。有三種應用較普遍的檢波器，即二極管檢波器（*diode detector*）、柵漏檢波器（*gridleak detector*），無限阻抗檢波器（*infinite impedance detector*）。

【調節】（Accommodation）

物體發出的光，經由睛珠，不一定達到網膜上；但毛狀肌有變更睛珠的焦距的能力，使遠近之物，都能映像於網膜上。這是眼的調節。

【調節相位】（Phasing）

在顯像時，調節畫像在掃描線中的位置。

【調節感應器】（Tuning inductor）

一可變感應器，其目的爲調節用。

【調諧】（Tuning）

是對一電路或系統作有關頻率的調節以達最佳效應，通常調諧是使一電路或多電路發生共振。

【調諧天線】（Tuned antenna）

利用感應量與電容量配諧到需要之頻率的天線設計。

【調諧放大器】（Tuned amplifier）

用一個調諧到待放大頻率的振盪廻路作爲屏極負荷的放大器。這個 *L C* 廻路得出的放大了的電壓或者經過耦合電容，或者利用變壓器耦合，就加到下級電子管的柵極。因爲在並聯諧振時，振盪廻路的阻抗達到最大值，所以和廻路沒有調到與外加振盪相諧振的情況相比較，在諧振情況下的放大具有最大值。由於這個緣故，調諧放大器既保證了很大的增益，也保證了很高的選擇性。所以在接收機的高頻及中頻放大方面，多採用調諧放大器。但在某些情況下，調諧放大器的過高的選擇性卻是不利的，因爲放大器將不能通過所需要的全部頻段，輸入信號就可能發生失眞。例如在電視接收中，就可能遇到這樣的困難。在這種情況下，爲了避免失眞，必須將放大器的通頻段擴展到所需要的界限。例如不將

調諧放大器各級中的振盪廻路都調到一個頻率，而使其調諧之間彼此有些距離，就可達到上述目的。擴大調諧放大器通頻段的另一個方法，就是採用段通濾波器來代替單個的振盪廻路。

【調諧度盤】(Tuning dial)

刻度的標誌是表示諧振電路的諧振頻率者。

【調諧射頻放大器】(Tuned radio frequency amplifier)

射頻放大器可分成兩種主要的形式，凡是用在無線電及電視接收機的，是將小信號電壓加以放大；若用於發射機，即將大的信號電壓再加以放大。

1. 第一種形式總是由甲類電壓放大器構成，所謂甲類放大器(*class A amplifier*)，就是在輸入信號的全週波內均有屏極電流流動的放大器。

2. 第二種形式一般均用丙類放大器(*class C amplifier*)，或者是功率放大器(*power amplifier*)，丙類放大器因其控制柵壓大於截止偏壓，所以其功率輸出較大，而效率也較高，由於其偏壓大於截止偏壓，所以屏極電流只可能在小於輸入信號電波之半週波內流。

由丙類放大器所造成的波形失眞，大部分可被屏極諧振槽路減小。此兩種主要形式的放大器，都可不加諧振電路。但大多數的射頻放大器都具有諧振電路，以放大某一特定的射頻頻率，或一狹頻帶範圍的頻率，並排除其他的頻率。此種選擇一種頻率或一狹頻帶範圍頻率的作用，完全是藉並聯諧振電路所完成。

圖 15－177 是關於無線電接收機，最初數級甲類調諧射頻放大器電路，天線所接收的輸入信號，直接加在一個電感式耦合電路的一次線圈上。而耦合電路二次線圈的槽路調諧到一所希望接收的電臺頻率。此調諧電路二次線圈端的輸出電壓，直接加在第一級射頻放大器的控制柵

上。同時，第一級放大器的屏極電路，也是用同樣的耦合電路與第二級放大器相耦合。此兩個耦合電路的作用，都是作選擇某一特定頻率的電壓用，而將不需要之頻率電壓完全隔離。每級放大器的最大輸入信號電壓，完全由耦合調諧電路的阻抗所決定，當其內部阻抗爲最大時，輸出電壓就是最大，放大器的輸入電壓也就最大。頻率爲諧振頻率時，阻抗最大，在大於或小於諧振頻率時，阻抗都急速下降。因此調諧電路，在選擇所需的頻率方面，有非常高的效果。

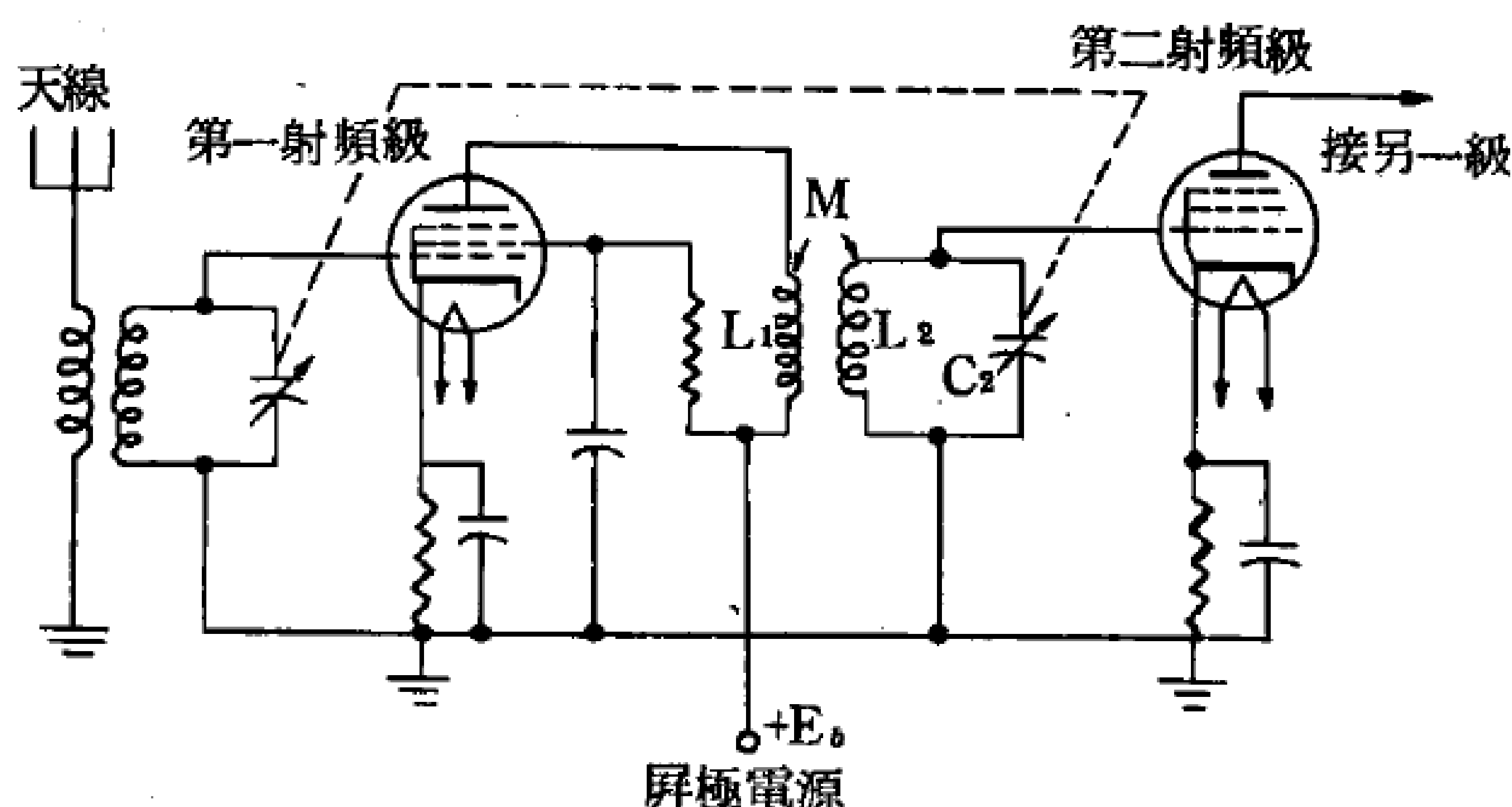


圖 15--177　無線電接收機甲類調諧射頻輸出級

當耦合變壓器二次線圈調諧到輸入級的頻率，及一次線圈與二次線圈間的耦合調節到臨界值時，調諧射頻放大器可得最大電壓增益，在此情形下放大因數約爲：

$$\text{在諧振條件下的增益} = 2\pi f_r\ gm\ MQ$$

式中 f_r 爲諧振頻率，也就是前級放大器的作用頻率；gm 爲放大器電子管的互導；M爲一次線圈與二次線圈間的互感應係數；Q爲二次線圈端的有效阻抗比（$= 2\pi f_r L_2 / R$）。

調諧射頻放大器所用的電子管，與電阻耦合放大器及視頻放大器所用的相同，都是五極電子管。三極電子管不適合在射頻電壓放大器用，這有兩個理由：第一，三極管的屏極電阻較五極管低，在臨界耦合時，將造成較低的互感應係數M，因此每級放大器的增益降低；第二，三極管屏極與控制柵間的極間電容大，能使屏極電路的輸出能量藉此電容反

饋給控制柵電路。因爲此反饋爲正反饋，所以振盪及不穩定的現象就會發生。

丙類射頻放大器，都用在無線電發射機的電壓放大或功率放大方面。在發射機，放大器控制柵所需輸入信號電壓比甲類放大器大若干倍，並且丙類放大的功率輸出及效率，都比甲類及乙類放大器爲高。除了丙類放大器的電子管作用條件與*A*類不同外，電路結構可能與圖15—177的電路相同，然而有關丙類放大器最重要的一點，是必須在屏極電路加上調諧槽路，以避免失眞。丙類放大器，在大部分信號輸入週期內，屏極電流都是零，只有在輸入信號電壓接近正峯值時，屏極才有脈衝狀的電流流動。因爲此種脈衝屏極電流失眞得太大，所以不能直接加以利用。將脈衝電流送入屏極諧振槽路，槽路就會產生一連續的正弦振盪電波，並可送出大量無失眞的功率。

【調諧射頻接收機】（Tuned radio frequency receiver）

就調幅射頻電波而言，最簡單又最實用的接收機是調諧射頻接收機。調諧射頻接收機，是由一級到數級的射頻放大器構成，每級的輸入端都有一電感器電容器（*L*-*C*）槽路。另外有調幅檢波器，及一級到數級的聲頻放大器以推動揚聲器。關於調諧射頻接收機之方塊圖，及各部分的輸出波形都已繪於圖15－178中。

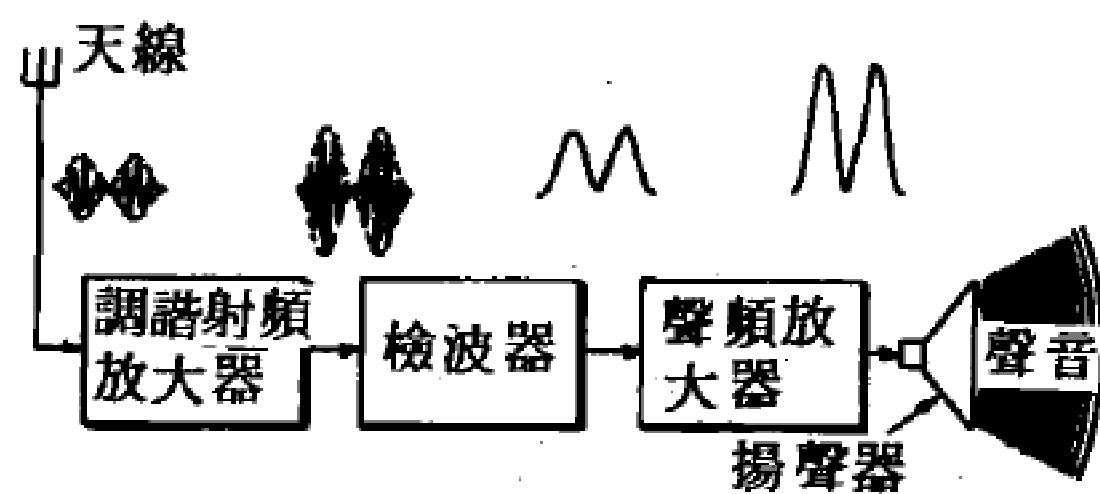


圖15－178　調諧射頻接收機

接收天線所接收的信號，經電感器電容器（*L*-*C*）槽路的選擇後，再經數級調諧射頻放大器予以放大，圖15－178的波形是由兩週的聲頻電波，所調制的射頻載波。已被放大的射頻載波經檢波級檢波後，只剩下載波的聲頻部分，檢波器可用柵漏式、屏極式或無限阻抗式（通常在低增益的調諧射頻放大器中，都不用二極體檢波器，因二極體檢波器的靈敏度低）。從檢波器所輸

出的聲頻信號，經一級或數級聲頻放大器的放大，然後推動揚聲器。揚聲器（或耳機）就可以將聲頻電波信號變為聲音。

調諧射頻放大器，又將一個調諧射頻接收機的三極管輸入放大器電路（圖 15 — 179 ）。雖然通常調諧射頻放大器都用五極管構成，但為了方便起見，圖 15 — 179的調諧射頻放大器，僅用三極管構成。

圖 15 — 179 中，天線所接收的信號，經射頻變壓器T_1的耦合，送入電感器L_1及電容器C_1所構成的控制柵調諧槽路。由於電感器L_1電容器C_1調諧槽路，諧振於所欲接收的載波頻率，因此槽路可將其他頻率的信號強度減低，而使所欲接收之射頻載波強度增強。也可說是在欲接收的射頻載波頻率時，電感器電容器（L - C）槽路的阻抗大，因此可在電子管V_1的控制柵端，得一較大的電壓。對於其他頻率的載波，槽路的阻抗低，因此都經旁路而流回。

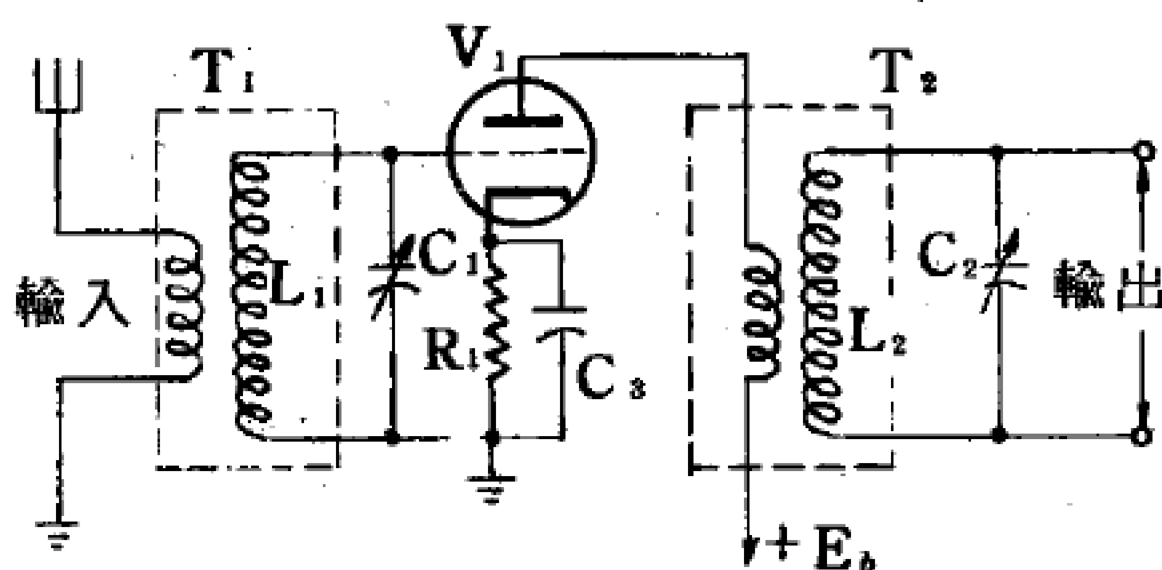


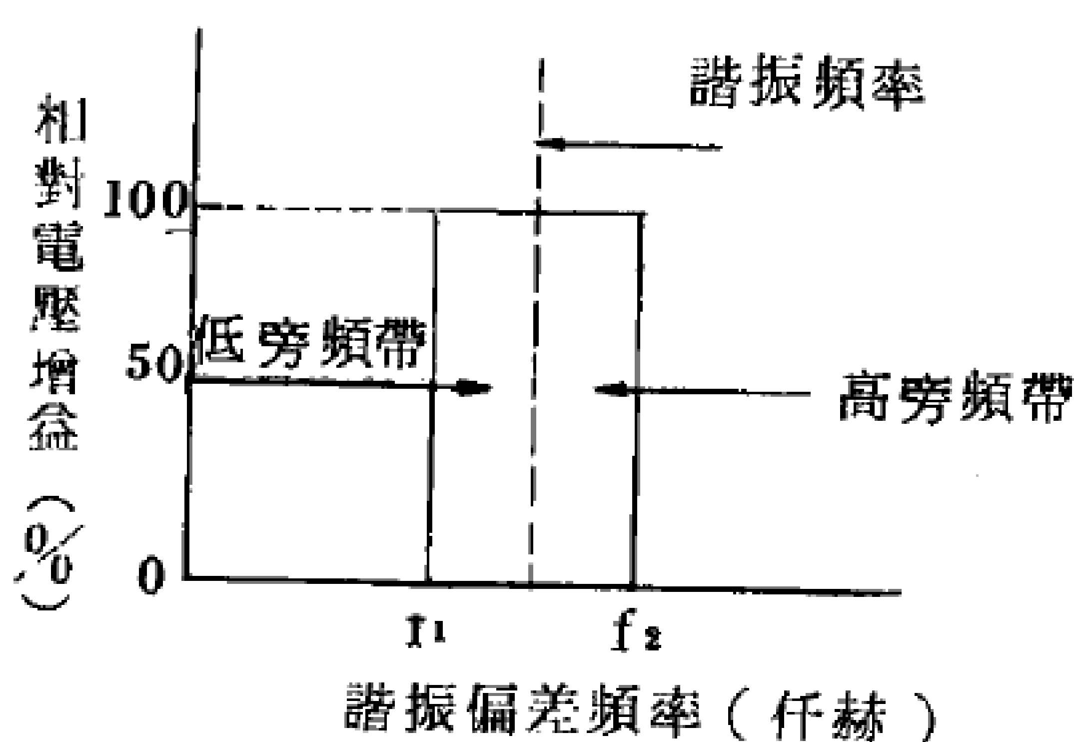
圖 15 — 179
調諧射頻接收機的調諧射頻輸入級

由槽路（L_1 —C_1）所選擇的信號，經電子管V_1放大，再藉射頻變壓器T_2的耦合而送到次級放大器的輸入槽路（L_2 —C_2）。槽路（L_2 —C_2）的諧振頻率與槽路（L_1 —C_1）相同，因此對不欲接收的頻率再加以抑制。這些射頻放大器都是甲類放大器，所以可得到最小的失真。其控制柵偏壓，是由陰極電阻R_1所生的壓降得到的，同時電阻R_1並聯一旁路電容C_3作為射頻電波通路。

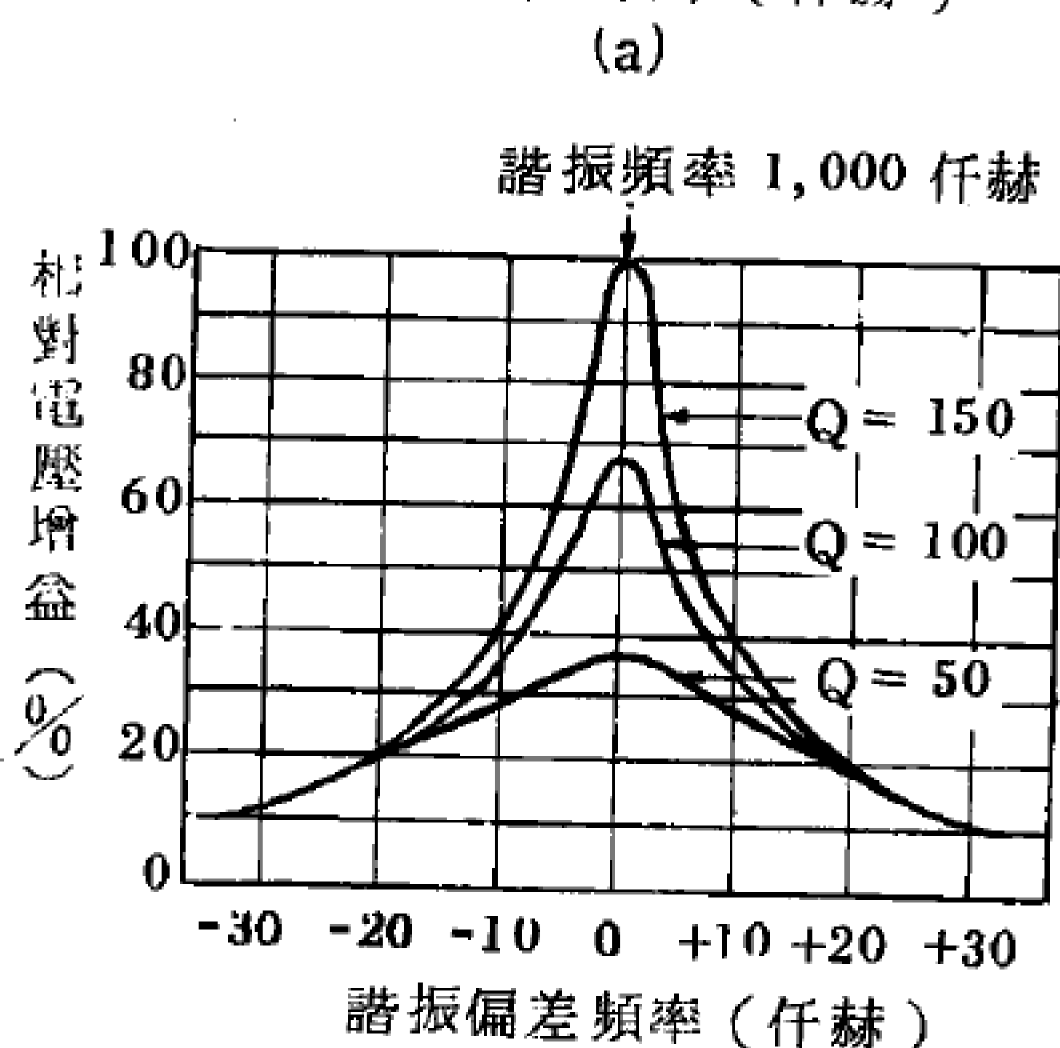
每一級射頻放大器都有一個輸入槽路，且只需要一個槽路就足以選擇所需接收的射頻電波。理由是為了得到足夠的選擇性，才在每級前都加一個槽路，使其能在每級都能加強所欲接收射頻電波，而抑制其他頻率的電波，只有一個槽路，其效果仍然很差。關於調諧電路的選擇性，可由調諧曲線的尖銳程度來決定。調諧曲線的尖銳程度，取決於槽路的抗

阻比（抗阻比爲槽路的感抗與調諧頻率時電阻的比）。抗阻比值越高，調諧曲線就越尖銳，同時所欲接收頻率的響應峯值也就越尖銳（見圖 15－180 ）。響應峯值越尖銳，就只有被選擇到的調諧頻率被放大了，當然其他頻率也就被壓制。但對於調諧曲線的尖銳程度也需有限制，也就是對選擇性也需加以限制，因爲需要放大的頻率不只是所欲信號的載波頻率，並且要包括高低兩旁頻帶在內方行。如調諧電路的響應被調得太尖銳，包含聲頻調制信號部分的旁頻帶就會被抑制，如此雖然得到最佳的選擇性，但確有損於音質，所以爲了得到優良的音質，需選擇性良好，而調諧電路的調諧程度又必須適當。

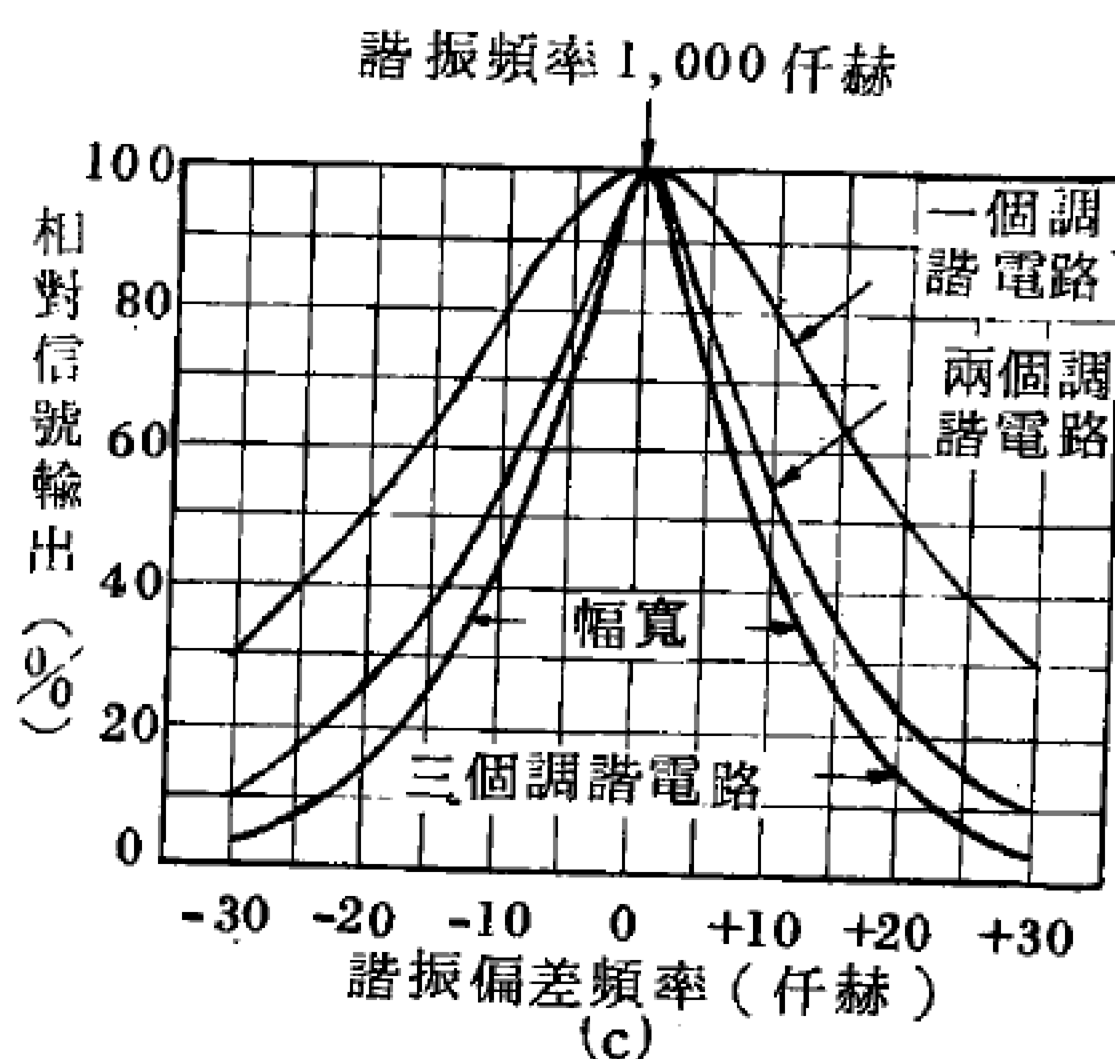
射頻放大器槽路最理想的諧振曲線，應該是一方形，上端是水平，兩邊是垂直的曲線。圖 15—180 (*a*)的方形選擇特性曲線，可允許載波頻率及其高低兩旁頻帶同時通過，也就是可通過的頻率範圍爲f_1到f_2，其他頻率完全不能通過，但實際的槽路並非如此。圖 15 — 180



(a)



(b)



(c)

圖 15 — 180
調諧射頻接收機的選擇特性曲線

(*b*)爲一實際槽路，調諧於載波頻率 1,000仟赫時 ，在不同抗阻比條件下的響應曲線。設抗阻比爲 150 時，一電壓增益爲 100%。再假設所欲接收載波頻率的高低兩旁頻帶各爲 10仟赫，其總頻帶的範圍則爲 990～1,010仟赫 。這也就是說播送的信號中，含有聲頻頻率達 10,000 赫茲的範圍，這也就是調幅發射機的實際情形。

圖 15－180(*b*) 中，抗阻比爲 50 的選擇性（諧振）曲線非常寬，所以只有很少部分不欲接收的頻率被抑制。載波頻率及其兩旁頻帶都非常容易通過，但其頻道已延伸到 30 仟赫以上。抗阻比爲 100 的曲線較尖銳，所以載波頻率附近更多不欲接受的頻率可被抑制，但對 10 仟赫的旁頻帶也同時產生相當的抑制作用。抗阻比爲 150 的曲線則非常的尖銳，對欲接收的頻率而言，此曲線所給予的選擇性非常的良好，在所欲接收的載波頻率向兩邊延伸（見圖 15－180(*b*)）至 30仟赫（即970仟赫或 1,030 仟赫之頻率）的調諧響應百分率，爲諧振頻率（1,000 仟赫）的 10%，因此不欲接收的頻率，所放大倍數僅爲諧振頻率的 10%。雖然這表示此曲線的選擇性好，但對於諧振頻率旁頻帶所包含的頻率，確有較大的抑制作用。由圖 15－180(*b*)中抗阻比爲 150 的曲線得知，10仟赫所具旁頻帶的最大頻率（即 10 仟赫）響應，僅約爲載波頻率的 35%。這表示聲頻信號中最高頻率（10仟赫）的放大倍數，僅約爲所欲接收載波頻率的 1/3 。也就是聲波頻帶中最高頻率的響度，僅約爲最低音頻率（即接近載波頻率的頻率）的 1/3。由此可知，雖然此種選擇性特別好，但對聲頻方面的傳眞性而言，卻非常差。

關於選擇性及傳眞度問題，可藉數級調頻射頻放大器予以單獨解決。串接在一起的數級調諧射頻放大器中之各個調諧電路，主要只對諧振曲線兩邊的幅寬有影響，而對諧振曲線的尖銳程度幾乎不甚相關。當增加調諧放大器的級數後，就更能使選擇曲線（即總諧振曲線）逐漸變爲理想的方形曲線。如果各級槽路的抗阻比都得選得適當的話，諧振曲線

的尖銳部分將變得很寬，而曲線兩邊的幅寬，幾乎變成上端與下端等寬，所以兩旁頻帶也可以通過，同時選擇性依舊。例如，就三個諧振電路而言，10 仟赫旁頻率約為諧振頻率的 50%（圖 15 — 180(*c*) 的第三調諧曲線），關於此點，可藉聲頻放大器的音質控制，予以補償，30仟赫的干擾頻率為 2%（圖 15 — 180(*c*)），幾乎此頻率的電波完全被抑制。如果再加幾級，抗阻比較低的調諧放大器，可得不變的選擇性，但傳真度則大為增加。有時，利用特殊的通帶濾波器（*band pass filter*）以代替調諧電路，如此更能使總調諧曲線接近圖 15 — 180(*a*) 的理想方形曲線。

接收機的靈敏度，是以產生某一特定的聲頻功率輸出，對需要多大的射頻輸入電壓而言，如此似乎是只要增加射頻放大器的級數，就可得到任何所欲的靈敏度。但事實並非如此，因為尚有雜波的問題存在。在所欲接收的頻帶中，所含不欲接收的干擾電波就是雜波。大氣的干擾及電機機械或其他設備所產生的人為干擾，均被天線所接收。並且接收機的第一級放大器，使雜波更為增加，此雜波是由交流電源經整流後所餘的漣波，電子管的不穩定放射電子（散射效應）及電子在導體或電阻中的雜亂運動（熱騷動）等所形成的。這些接收機的內在及外在雜波，同時與所欲接收的信號，經各級放大器所放大，因此最後從揚聲器或耳機聽到的信息，非常不清楚。

顯然地，一個接收機的靈敏度並非由其輸入信號的絕對強度所決定，也並非由放大器的級數所決定，而是由在輸入端的輸入信號強度與在輸入端之總雜波比決定的。因此在輸入端的信號與雜波比，限制了接收機的最大有效靈敏度。對於接收機或調制系統中信號與雜波比的改進，是非常困難的。因為信號與雜波同時在一頻帶中出現，信號被放大，雜波也同時被放大。然而雜波在波譜中幾乎是均勻分佈，所以只要限制頻帶的寬度，就可減少雜波，但頻帶限制後，對聲波的傳真度也同樣降低

。在純的通信式接收機中，因其音質之優劣爲次要的因素，所以此種接收機的頻帶寬度已減少到只可接收信息的最小程度。很顯然，頻率調制系統不受振幅變化的雜波影響，這也是何以調頻系統爲優的原因。調頻接收機的有效靈敏度及信號與雜波比，較調幅接收機爲大。

一調諧射頻接收機，所能增加射頻放大器的級數，將受不穩定性（*instability*）所限制。因爲整個系統各級的作用頻率都相同，如果輸入級與輸出級間由電源或其他電路引起少許的耦合作用，都會導致嚴重的正反饋現象。系統如有足夠的放大作用，此正反饋就能造成不穩定的振盪作用。一般來說，調諧射頻接收機只適用於單一的低頻或中頻帶，如廣播方面。由於在高頻帶，其射頻放大器的放大作用及選擇性都急速下降，所以在應用上，調諧射頻接收機，並不適用在多頻帶接收機的高頻帶。

【調諧電容器】（Tuning condenser）

在調諧電路中必須使用可變電容器，當改變電容量時，就可以改變頻率。可變電容器有一組動片，可在另一組定片中轉入或轉出，動片和定片間的介質是空氣，以軸控制其值，當動片從定片中轉出時，電容量即減低。

大多數無線電收音機的射頻放大器都有好幾個調諧電路，每個調諧電路都需要一個可變電容器，如這些可變電容器都分別安裝，則調諧時必須各別調節，極不方便。爲調諧方便起見，通常將幾個類似的可變電容器的動片安裝在同一動軸上，這種安裝爲同軸（*ganging*）裝置。當一組動片旋轉時，其他各組的動片亦隨著作等量的旋轉。

同軸電容器（*gang condenser*）有一極大缺點，雖然同軸電容器各組的大小和間隔都是相同，但電容量仍有些微差異，這是由於製造兩件大小完全相等的成品，在事實上是不經濟的。爲了補償這種電容量的差異，常將一個很小的可變電容器和同軸的每組相並聯，分別調節這

些小的可變電容器，使各組同軸電容器都具有相同的電容量。這些補償電容器叫做微調電容器（*trimming condenser*）。如圖 15 — 181 所示。

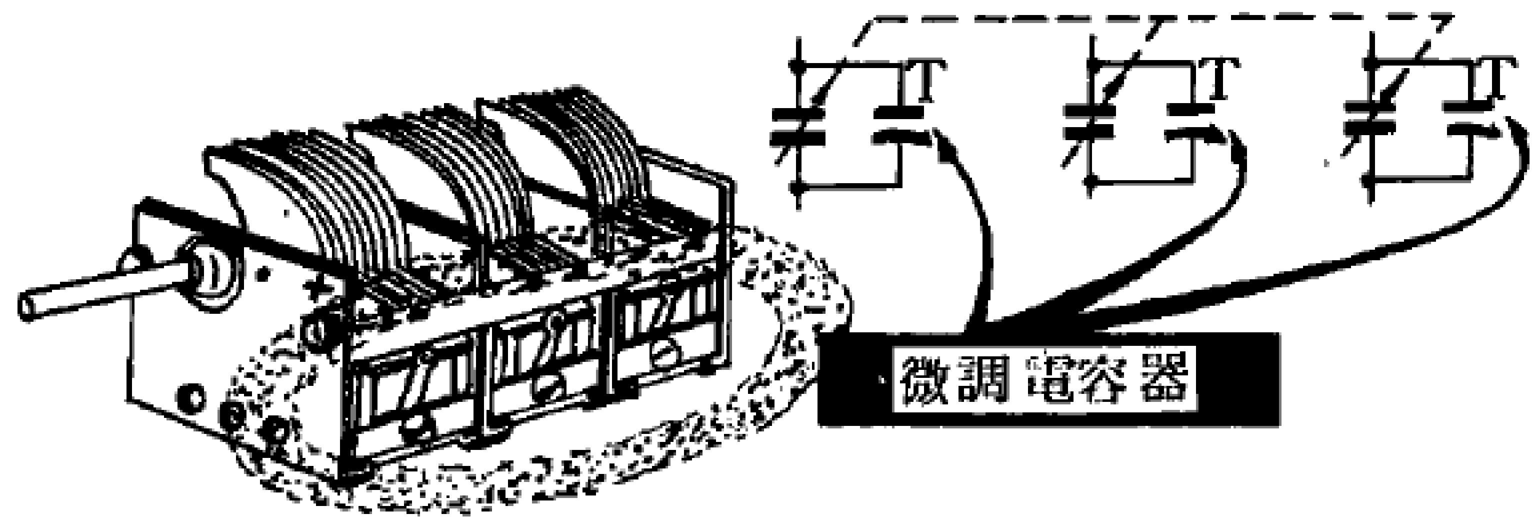


圖 15 — 181

【調諧電路】（ Tuned circuit ）

又稱選擇電路，選擇某一些需要的頻率，排除一切不需要之信號，此項責任均由此調諧電路擔負。本電路是由電容器 *C* 及電感線圈 *L* 所組成，其中電容量或電感量是可以變動的；適當調整其量值，可使電路諧振於需要的頻率。通過調諧電路的這種作用，接收機才能將需要的信號從若干不需要的信號中選擇出來，發射機才能發出規定頻率的信號；因此在收發機中，都必須裝置調諧電路。

【調諧銳度】（ Tuning sharpness ）

接收機調諧的變化對接收強度的影響程度。當接收機的調諧變化時，接收強度的變化越劇烈，則調諧銳度越大。調諧銳度決定於接收機振盪廻路中諧振的尖銳程度。接收機的調諧銳度與該機的選擇性有著十分密切的關係。調諧銳度越大，選擇性亦越高。

【調諧耦合電路】（ Tuning - coupling circuit ）

利用耦合電路調諧至工作頻率者，調諧耦合的優點是選擇性較高，並可減少不需要的頻率輻射。此外，由於調諧耦合器常是可變的，可以在傳輸線阻抗改變時予以補償，而使末級功率放大器與傳輸線永遠保持有最大功率傳遞。

當傳輸線的輸入阻抗低時，應採用串聯調諧耦合電路（如圖 15 — 182）。串聯調諧叫做電流饋接（*current feed*），可以將末級功率

放大器和低阻抗線相匹配。

當傳輸線的輸入阻抗高時，應採用並聯調諧耦合（如圖 15 — 183），它叫做電壓饋接（*voltage feed*）。並聯櫝蘊電路的高阻抗和傳輸線的高輸入阻抗相匹配，可得最大功率傳遞。

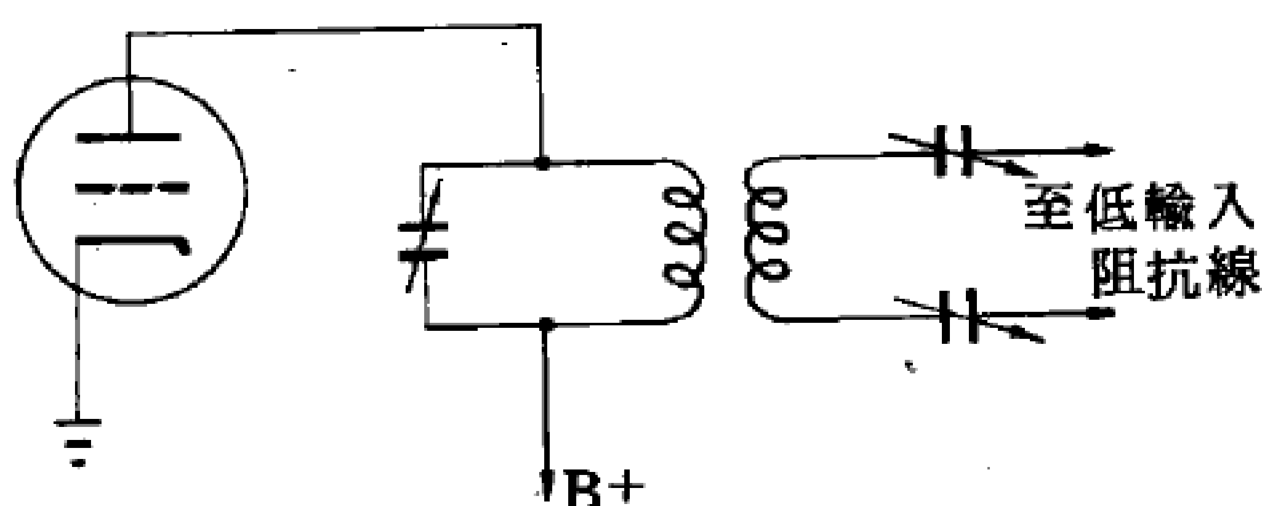


圖 15 — 182　串聯調諧耦合電路

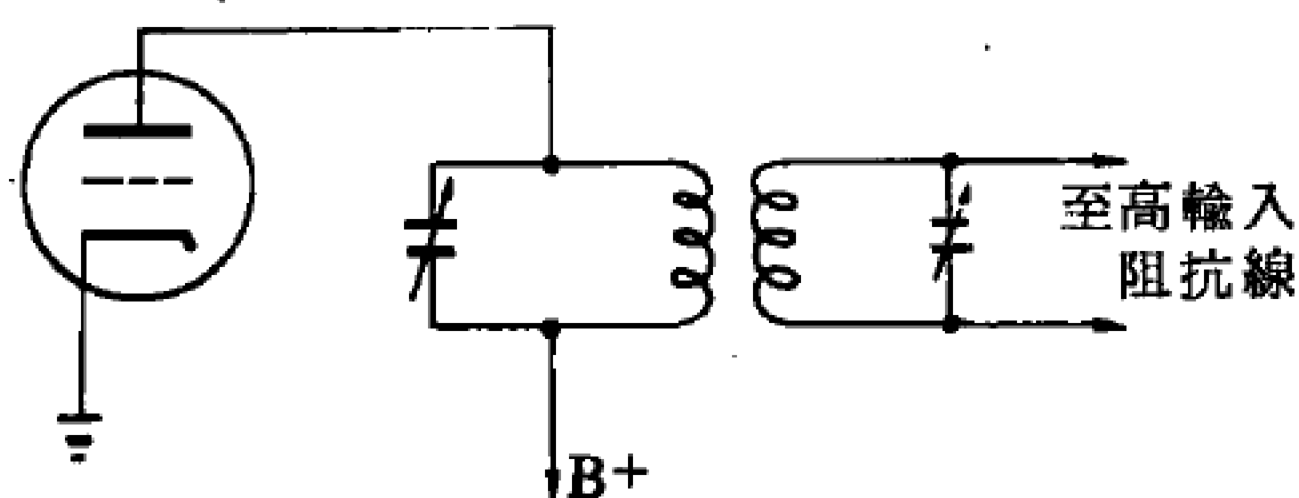


圖 15 — 183　並聯調諧耦合

如傳輸線的輸入阻抗不是純電阻，則在調節上述兩種調諧電路時，務使調諧電路的電抗和傳輸線的電抗互相抵銷，以便獲得一純電阻性的負載，此乃是最大功率傳遞的必要條件。

【調諧線圈】（Tuning coil）

藉滑臂移動，控制感應量之可變感應器。

許多射頻線圈實際上就是變壓器，它有兩個繞組，即一次繞組和二次繞組。每線圈常繞在膠木或硬紙筒上，一般都是空心的。在低頻率線圈中有時可能使用鐵粉芯。

爲了避免雜散電場影響射頻線圈的作用，通常線圈的周圍都裝有遮蔽。這些遮蔽能使線圈的電感抗略爲改變，所以任何收音機的調節，都需於有遮蔽時完成之。

【調諧器】（Tuner）

接收機之電路上，選擇其所接收信號頻率之設備。

【調頻】（Frequency modulation）

最初，在搜索的應用上，發現調頻比調幅方式好。從較高的效果

方面說，調幅有兩種實用上的缺點。第一種是雜波，所有的自然與人為的雜波，包括大氣層靜電、電鬍刀、電機機械等，所有能引起振幅干擾，都能產生雜波。由於無線電接收機將所有具有振幅變化的射頻電波都收入，並且其無辨別何者為含有信號的載波，何者為無意義的雜波，所以一般來說，振幅調制的接收情形總是雜音較大，除非接收機距離發射機非常的近。發射機之輸出功率增大，可增進信號與雜波間的比值，此種只是為了增進信號雜波比值，而增大發射機輸出功率的方法，所費太大，並且接收機的距離越近，效果仍然降低。

第二種實用上的缺點，振幅調制缺乏傳眞性或優良的音質。為提高傳眞的接收效果，人類耳朵所能聽到的聲頻（約達 15,000 赫），都必須能由接收機播出。因此這需要一個 30,000赫或30 仟赫 （包括兩個旁頻帶在內）頻帶寬的頻道，但調幅廣播站的廣播頻道寬 ，被限制為20仟赫，並且太多為避免與鄰近頻道發生干擾現象，都只用 15仟赫。在實用上說，這表示最高的調制信號電波頻率，只能達到 500赫，此種頻率範圍根本不能使音樂眞實的重現（尤其是高頻率的音樂）。振幅調制所用頻道如此狹窄的原因，是因為在早期建立振幅調制電臺時，僅有500仟赫～ 1,600 仟赫 的中頻率範圍，適合電子廣播設備的存在。為了能在 1,100 仟赫的全中頻率頻道範圍內，盡可能的多設立廣播臺，所以每一廣播臺的頻道寬就大受限制，關於高傳眞性（*Hi-Fi*）的需要，是在廣播站的頻道寬度已經規定以後才有的。除了由於以上對頻道寬度的限制原因外，振幅調制本身，並沒有任何對音樂及語言等高傳眞性的限制，反而言之，只要頻道夠寬的話，振幅調制也可作到高傳眞。

頻率調制是在二次世界大戰以前才出現的，並且頻率調制的應用，能脫出振幅調變限制之外。頻率調制是藉改變載波的頻率變化而成，載波的振幅保持恆定，因此在接收後，已調載波振幅的變化，根本不必再出現於聲頻電波中，所以由雜波引起的振幅變化，完全沒有作用。這也

表示不受雜波影響的頻率調制信號雜波比值，比振幅調變小很多，因此頻率調制發射機的功率雖低，也可以得到相同音質的接收。再者，因爲頻率調制載波的頻道，包含所傳送20赫～15,000赫的整個聲頻頻帶，所以頻率調變具有高度傳眞性。頻率調制所需頻道的頻帶寬，比振幅射頻調制所需者大。在發展頻率調制的同時，很寬的特高頻率頻帶從30,000仟赫～300,000仟赫（30～300兆赫）內的信息傳送，已經可到了。頻率調制廣播所規定的總頻帶爲88兆赫～108兆赫（即總頻帶寬爲20,000仟赫），每一廣播電臺所允許頻道的頻帶寬爲200仟赫；這表示在同一地區，可以同時有100家電臺存在。

調頻亦有它的缺點（圖15－184），如要達到調頻的作用，發射機的載波頻率必須要在一極濶頻率的波段內偏移。雖然優良調頻廣播，並不需要發射機的頻率偏移達最高允許限度（指定中心頻率上下各75,000赫），但高傳眞度性能的調頻廣播電臺差不多都能接近於這個限度。這樣寬的頻率範圍在商用無線電廣播波段是無法容納的，故商用調頻發送指定於88～108兆赫間。在這頻率波段中，調頻遭遇到和電視觀衆所習知的同樣缺陷，這便是調頻的接收主要只限於離發射天線視線（*line of sight*）距離內，邊緣區（（*fringe area*）的接收素質，在每天內的變化極大。

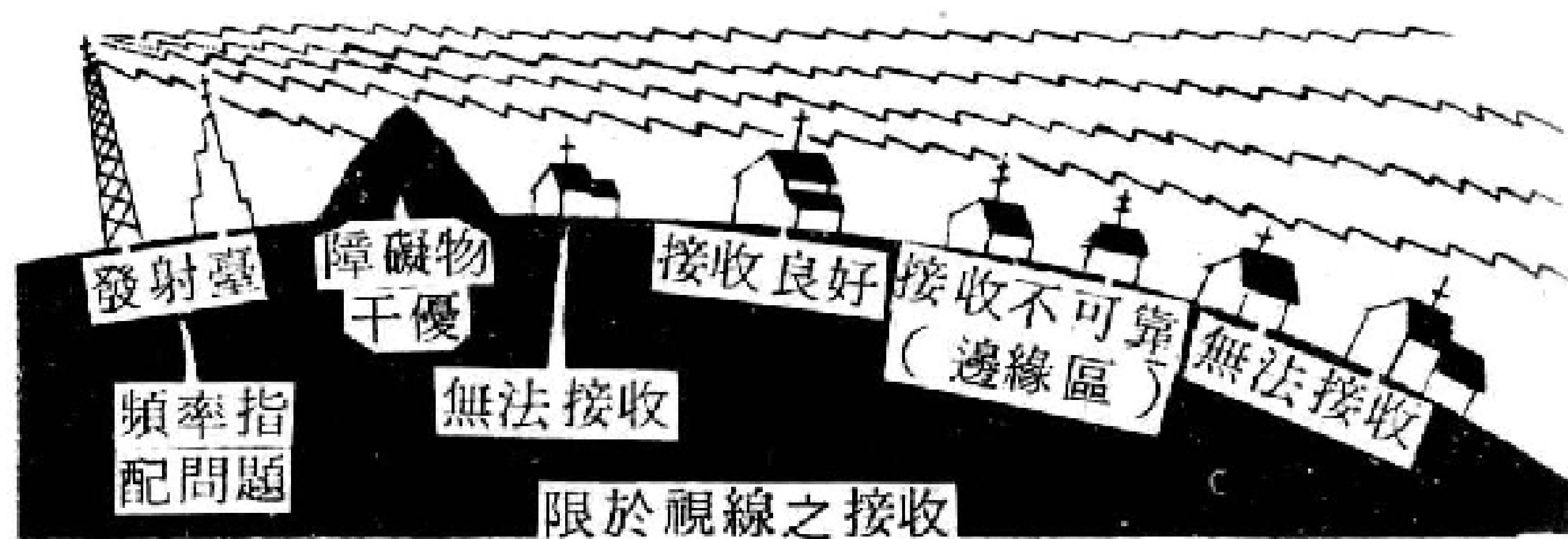


圖15－184　調頻的缺點

另一調頻的缺點是每一發射機需要一寬的頻率波段，在波段重疊的情形下便只能收到最強的發射機。這樣便需要把全國各地發射機的工作頻率，小心的加以分配，以避免任何可能的重疊。這在固定電臺的情形下，經過一次的指配，這問題便可解決了。但在移動電臺情形下，頻率

的指定必須要特別小心；爲避免干擾計，這種頻率指配工作須經常的復核。

【調頻接收機】（F．M． receiver）

調頻信號的接收機，常常是用超外差電路構成，因爲只有此種電路才能夠供給足夠的增益（放大），使微弱信號的振幅大到可利用限制器，以限制變動的振幅，而得等幅電波。以達到無雜波干擾的目的，只有

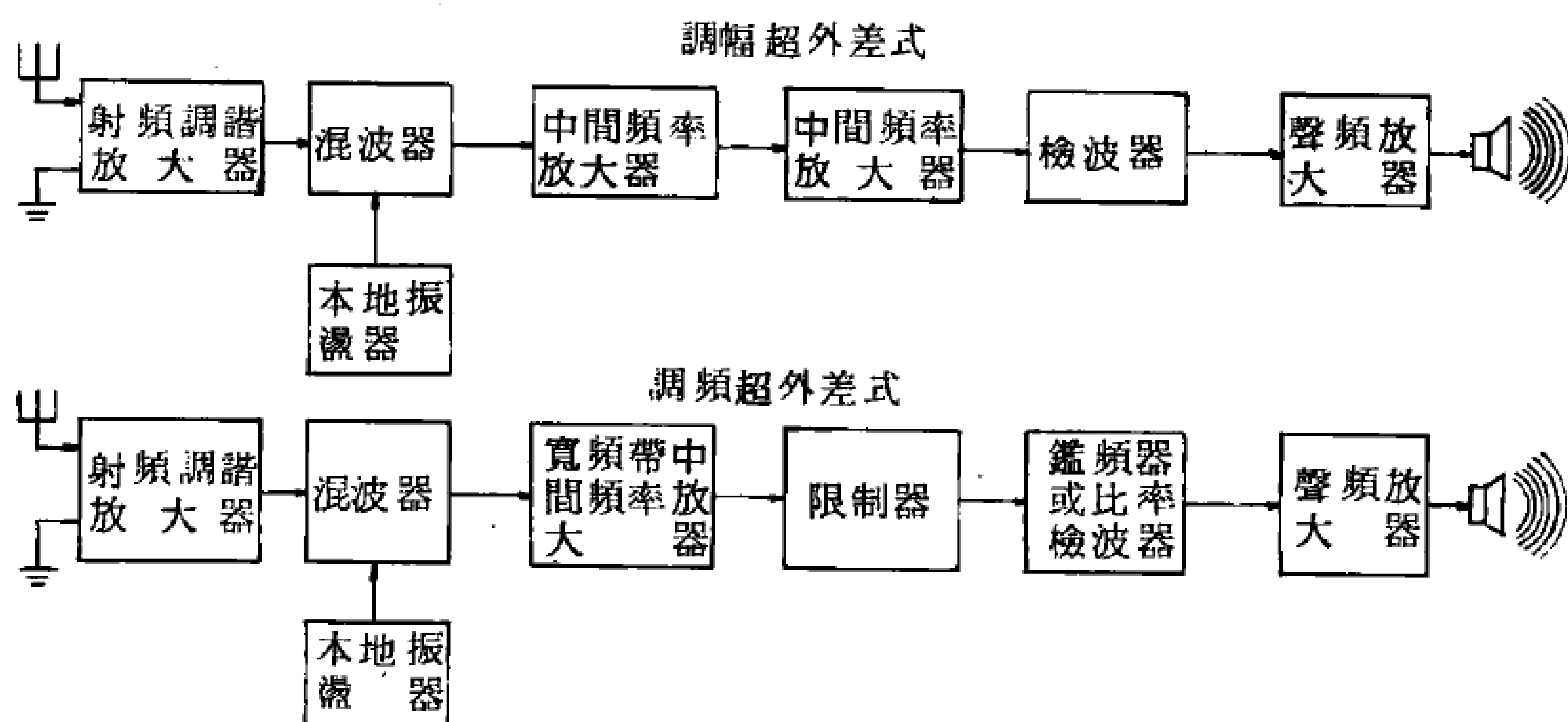


圖 15 — 185　調幅與調頻超外差式接收機方塊圖的比較

在載波信號的振幅永遠保持一固定值方可。圖 15 — 185 是調頻超外差接收機與調幅超外差接收機的方塊圖。

由圖 15 — 185 知，調頻及調幅超外差接收機非常相似，只是調幅接收機的檢波器，被限制器及鑑頻器所代替。調頻接收機有時可用比率檢波電路，代替限制器及鑑頻器。無論是那種情況，限制器和鑑頻器或比率檢波器的作用，都是爲了使信號載波的振幅保持恆定值，並且將載波頻率變爲相應的聲頻振幅變化。

調幅接收機與調頻接收機間，另一有意義的不同點，在兩者的中間頻率放大器上。廣播所用調頻信號的頻帶寬爲 150仟赫或更寬，因此調頻信號的頻帶寬幾乎是調幅信號頻帶寬的十倍。因此調頻接收機中頻放

大器的頻帶寬必須有足夠的寬度;再者,調頻系統作用頻率在100兆赫的頻率範圍,所以中間頻率爲10.7兆赫(調幅接收機的中頻爲455仟赫)。

【調頻發射機】(F.M. transmitter)

經調頻的射頻載波,振幅恆定不變,但頻率則隨聲頻調變信號的瞬時振幅而變。也就是原來的聲波,轉變爲射頻載波頻率的頻率偏差(*frequency deviation*),而此頻率偏差與聲頻電波的強度成正比。已調頻射頻載波的每秒頻率變動數等於聲頻信號電波的頻率,電抗管調制就是將聲頻信號電波的振幅變化,變爲相對應的頻率或相位變化。

圖 15 — 186 是一個調頻發射機的方塊圖。圖中包含有傳聲器、聲頻放大器、電抗管調變器(將聲頻電波的振幅變化變爲頻率的變化)、10兆赫的發射機振盪器,及一序列的頻率多倍器以便將10兆赫的頻率,變爲所需的100兆赫頻率,另外尚有一級射頻功率放大器及天線。

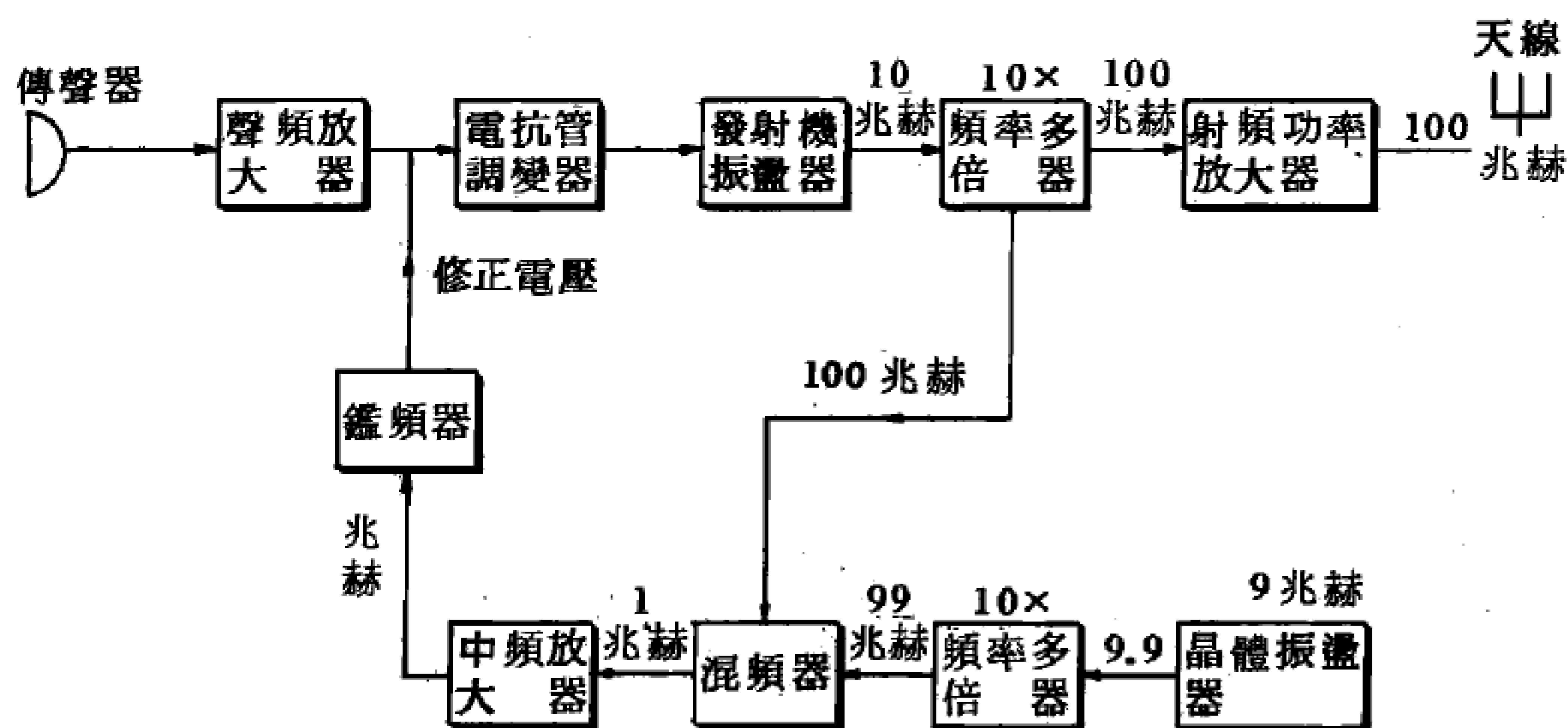


圖 15 — 186 具有自動頻率控制的調頻發射機方塊圖

圖 15 — 186 下面一排電路的作用,主要在穩定發射機已調頻載波的中央頻率。由於調頻發射機的頻率成爲一個固定的偏差變動,顯然是不可以用頻率非常穩定的晶體振盪器。然而美國聯邦通信委員會卻要求

，調頻載波的中央頻率必須恆定於一個極嚴的限制內。因此在圖 15 —186 的解決辦法是利用一獨立的晶體振盪器先產生 9 兆赫的頻率。然後將此 9 兆赫的頻率經頻率多倍器變為 99 兆赫，此 99 兆赫與發射機輸出的中央頻率差 1 兆赫。頻率多倍器的輸出頻率（ 99 兆赫）與 100 兆赫的頻率，同時送入混頻級（*mixer stage*）得 1 兆赫的差頻，或稱為中頻（ *intermediate frequency* ）。中頻信號，經調諧於頻率為 1 兆赫的中頻放大器予以放大，然後再送入鑑頻器（ *discriminator* ）。鑑頻器輸入信號的頻率如為恆定，輸出則為一恆定的直流電壓，如果輸入的頻率不是恆定的，輸出直流電壓也隨之相應而變。此直流輸出被送至電抗調制器中電抗管的控制柵，以此參考電壓（鑑頻器輸出的直流電壓）就可以使發射機得到適當的動作頻率。

假如發射機振盪器的中央頻率稍有增加，混頻級輸出頻率隨之增加，因為發射機頻率與晶體振盪器頻率之差已經增大。結果鑑頻器的輸入頻率增大，其輸出的直流電壓也隨之變化。此變化的直流電壓加於電抗管的控制柵，就可改變電抗管的相移作用，並且自動將發射機所增大的頻率加以改正。所以此一系統可將發射機的變動中頻予以穩定，同樣的自動頻率控制（ *A . F . C .* ）系統，也用在電視接收機中。

【調頻廣播】（ F . M . broadcast ）

自然界的各種事物都有其一定限度，中波廣播亦不例外。在過去國內電臺少時，自然無問題，但時至今日，電臺數量大增，使中波調幅式廣播所用的頻率波段已有不敷應用的趨勢。因此各電臺的廣播，互相之間，時生干擾，而且還有來自國外的強力電臺的干擾，遂使我們對於調幅式的利用價值不得不重新估計。

此外，更由於電化器具（如日光燈、電視機等）普及的結果，此等器具所生的雜音亦易混入收音機中，使收聽效率格外降低，雖屬高傳真度（ *Hi - Fi* ）的收音機，但當將中頻放大器的波段放寬時，干擾亦隨

之而增加，令人不勝煩惱。

在此種情形之下，調頻方式廣播遂應運而生。

上述調幅方式，因受雜音干擾，調變波的振幅即發生變化，待經過放大而音波出現於揚聲器後，即產生喀拉喀拉的雜音。

因此，很久以前就有許多學者與技術家從事研究一種不受雜音影響的調變方式。

因爲有雜音，振幅才有反常的變化。如果加入音波，使高頻率電流的頻率發生變化，雜音或者可以減少。此種想法在半世紀前就有了，但使此種構想付諸實用者仍爲美國的阿姆吏特朗。他用超短波作爲射頻電流（載波），使其頻率適應音波頻率而變化，是一種雜音極小的廣播方式。

自 1940 年左右起，各國都開始研究此種調頻方式，經過多次實驗獲知調頻方式在壓制雜音上，確比調幅方式較爲有效得多。

從此以後，美國首先舉辦調頻式廣播，世界各國亦在加緊研究調頻式通信，在亞洲方面，日本最先開始調頻的研究，二次大戰後所有各廣播電臺、通信社、警察電信、電視聲信等都採取此種方式。

按調頻式的主要優點大致有下列三點：

(1)信號雜音比，較調幅方式爲大，即雜音干擾較少。

(2)使用超短波，不僅頻率波段容易放寬，且易使失眞減少。

(3)因載波使用超短波波段，故使來自國外的遠距離通信的混音不致於發生。

此外，調頻方式比較調幅方式不同之點仍很多。茲更爲求明瞭兩者方式之不同，將調幅式廣播及調頻式廣播發射機的系統圖（原理）示於圖 15－187 及圖 15－188，以資比較。

圖 15－187 係調幅式中波無線電廣播（530～1,650*KHz*）的發射機系統圖。當音響輸入廣播電臺播音室的傳聲器（俗稱麥克風，*mi-*

crophone）後，由聲頻放大器加以擴大，然後送至發射臺。發射臺收到此種聲頻交流後，再將它送入聲頻放大器，放大至適當的大小，再送至調幅器中。另一方面由放大器將從晶體振盪器所產生的高頻率（530*KHz* ～ 1,650*KHz*）加以放大，使此高頻率的振幅隨著音波的波形而變化，然後再將此種與音波成同樣變化的高頻率（通常稱爲調幅波）作強力放大，使其達到一定的電功率，輸送至發射天線，而由天線將電波發射出去。此即爲我們平常所收聽的中波廣播。

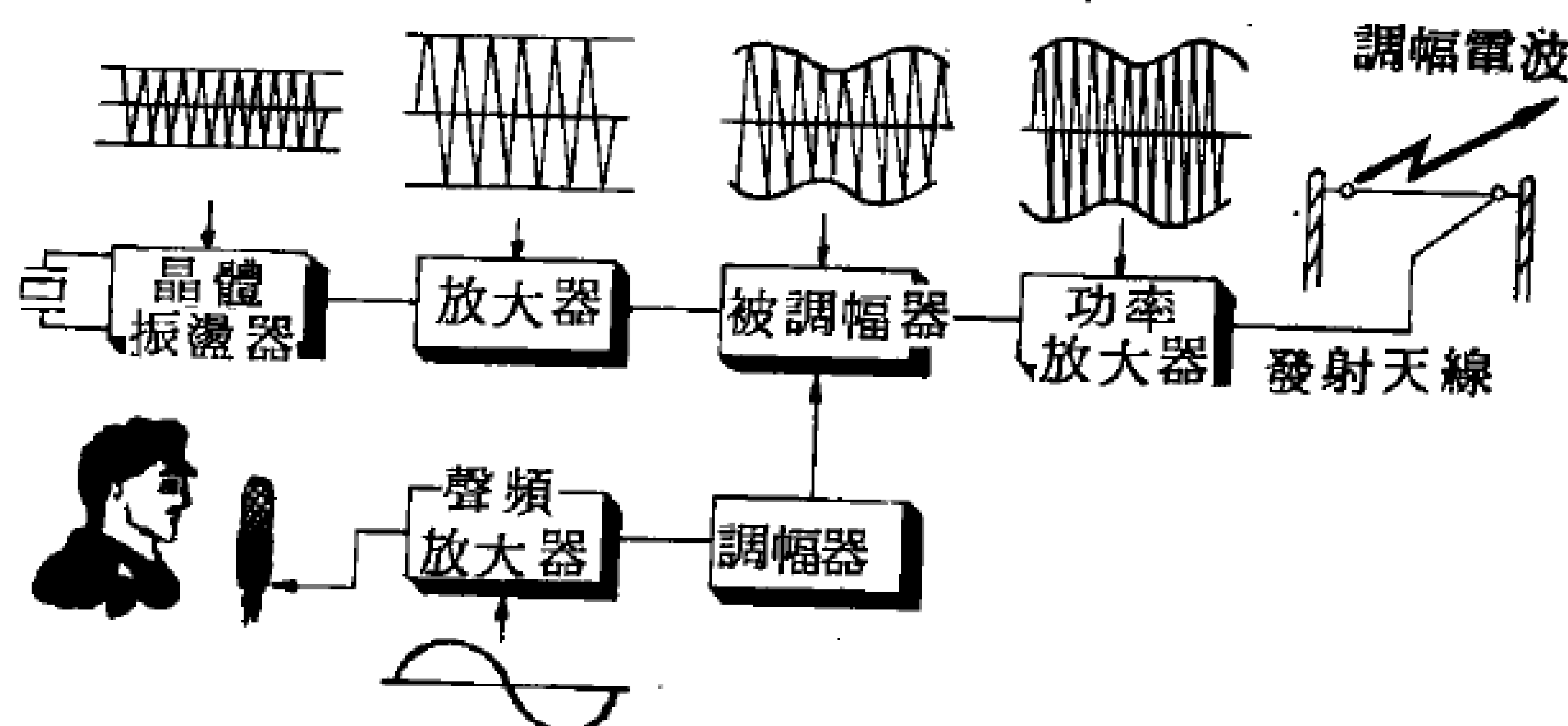


圖 15 — 187　調幅式中波無線電廣播的發射機系統圖

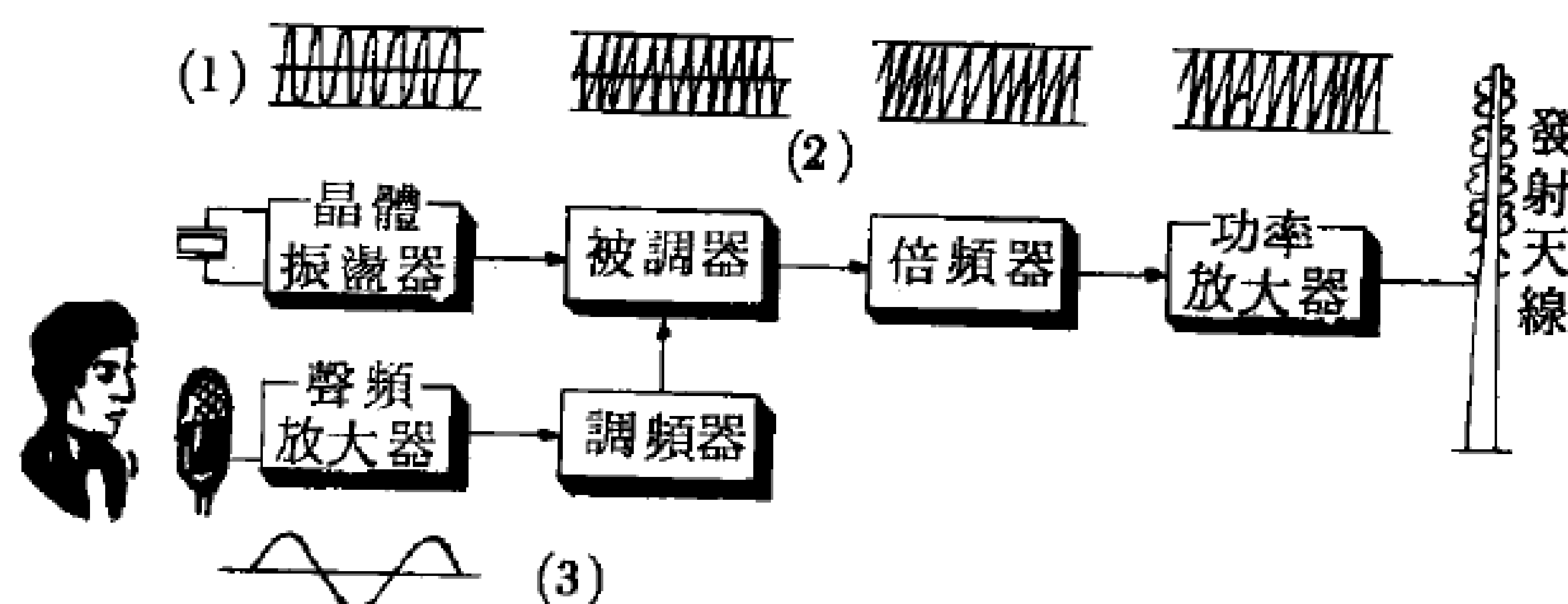


圖 15 — 188　調頻式發射機的系統

如此變化射頻率振幅的廣播方式，稱爲調幅方式，簡稱*A.M.*方式。此種調幅方式被廣播電臺採用以來，已有五十年以上的歷史，隨著電子管的進步而逐漸發展，對於今天收音機的普及，實有不可磨滅的功績。

圖 15 — 188 則係調頻式廣播的發射機系統圖及各級的波形圖。由於調頻式廣播係在超短波波段範圍，故仍須增加一種提高頻率的裝置——倍頻器。此爲中波發射機所無者。圖中(1)的振盪頻率（振幅一定）用(3)的成音頻率加以調變時，即變成(2)所示的被調波形。其與調幅式不同

之點，就是自此以後被調波形的振幅即歸於一定，而電波的週期（頻率）則發生如(3)的變化。

此種變化如圖 15 — 189 所示，在音波振幅正（＋）方的最大處，頻率變化常較振盪頻率為高，在負（－）方的最大處，則常較振盪頻率為低。此與調幅方式變化振幅的情形相似，只不過是以音波變化頻率，故稱為調頻式，簡稱為 *F*.*M*. 式。

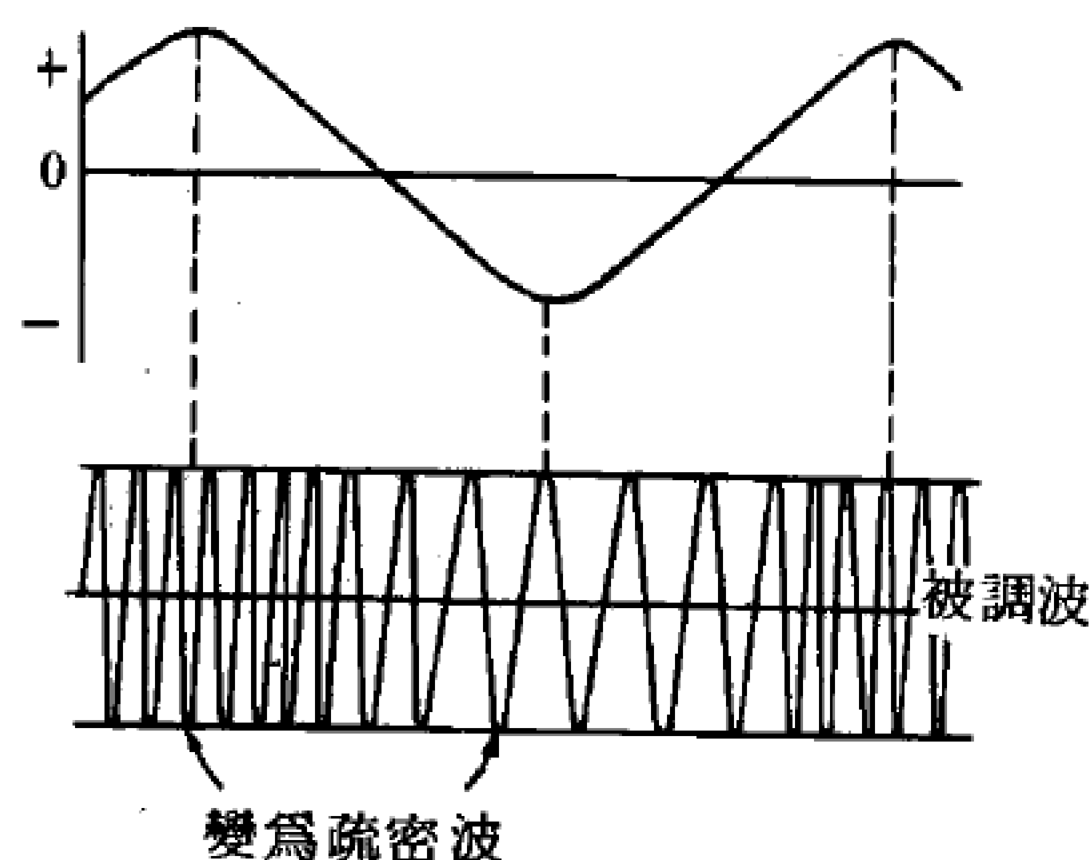


圖 15 — 189　調頻式被調波形的變化

【調頻廣播天線】（F.M. broadcast antenna）

調頻波的發射天線系統內，自發射強放級至天線間所用的耦合網路，必須能使發射信號中不導致相位失真。因在調幅波中，若有相位失真介入，不致被接收機檢得；但在調頻波中，相位失真將導致一等效的頻率變化，即在實效上介入頻率失真，而調頻接收機能響應於發射信號的頻率變化，故此項失真可被其檢拾。其次，若有振幅失真，尚有調頻接收機中的限制作用可予以消除。

為避免振幅及相位失真起見，天線的輸入阻抗，或其對輸入頻率的響應特性，最少應足以接受一 150*KHz* 的頻帶寬度，或發射頻率的兩邊各 75*KHz*。更寬則更佳，因最大偏差量處的有效旁波帶可向載波兩旁延伸各達 100*KHz*。

至於所採用的發射天線的型式，應由下列各項因素決定之。

(1)希望涵蓋的輻射面積大小。

(2)在所需服務範圍內，發射天線所處的位置。

(3)天線的有效高度。

在兩固定點間的通信，最希望輻射信號作狹束狀，使在不對準接收機之

方向的信號輻射甚少，以減少耗損。但在調頻廣播中，則情況完全不同，其天線必須設計成為使能向各方向輻射，以涵蓋必須服務之面積（*service area*）。

由於大氣性質及工作頻率的關係，發射的調頻信號須依水平方向及在必需的面積內，有最大的輻射場強度。天線的輻射信號是依賴發射頻率交變的電磁波。一支半波長雙極天線（*half-wave dipole antenna*），在水平及垂直面中，有其一定的輻射圖型（*radiation pattern*），如圖11－190所示。圖中(*a*)表示其完整輻射圖型的一半；若雙極在水平位置，我們垂直向下看，則見一橫8字形的輻射圖型，如(*b*)所示。若雙極在垂直位置，則可見一圓形輻射圖型，如(*c*)所示。

輻射的信號，包含互差90°的交變的電場及磁場。通常所說的電波之極化（*polarization*），是僅指其電場的方向。當雙極天線作水平位置放置時，其電場作旁向運動（*lateral motion*）之交變，稱為水平極化。當雙極天線作垂直位置放置時，其電場作上下的交變運動，被稱為垂直極化。調頻廣播信號必須水平極化，但亦有例外。

一般言之，調頻廣播電臺約處於其服務區域的中心，故其水平輻射圖型須作圓形，以涵蓋所需的面積。例如，使用半波長雙極天線，妥加安排，使其可能產生一圓形的水平輻射圖型。

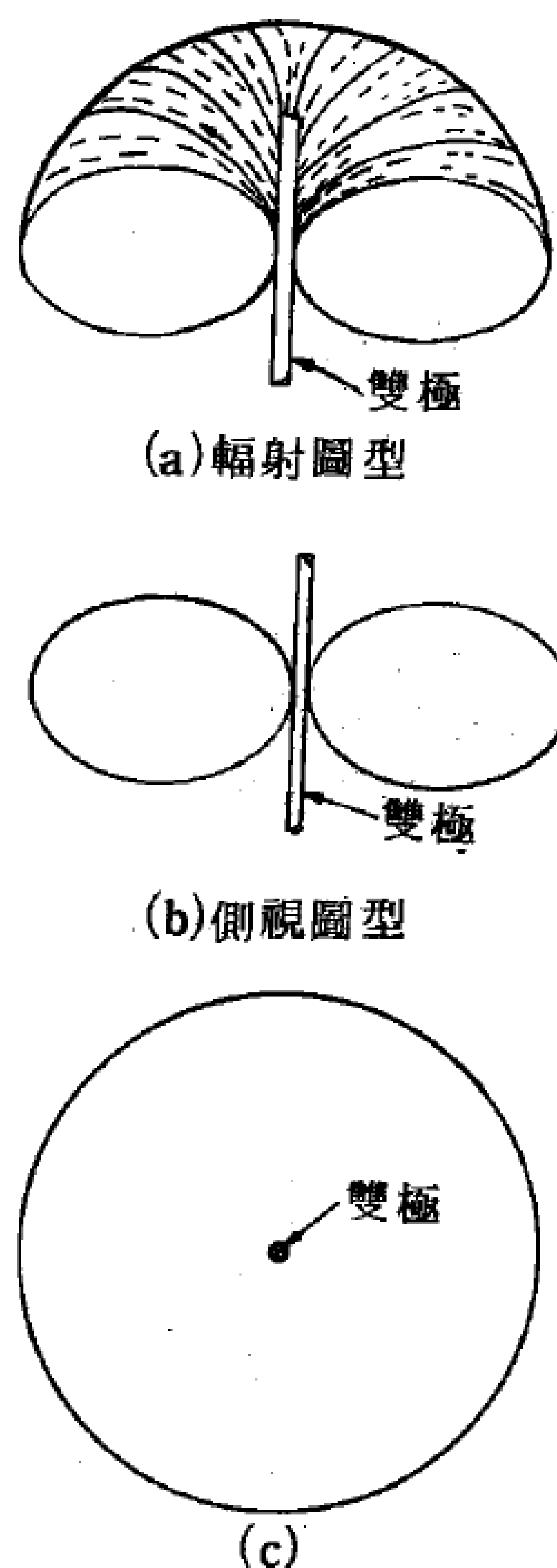


圖 15 — 190
半波長雙極天線的輻射型

具有水平極化的圓形輻射圖型最常用的調頻廣播天線，有下列各種：

1. 圓形天線——此種天線係由上下間隔相等而疊置在一起的數個摺疊式雙極天線彎曲而成的一個圓形天線。如圖 15－191 (*b*)所示爲四單元圓形天線。圖(*a*)表示一單獨的輻射單位。每一個摺疊式雙極天線中的可調電容器，可調節每一輻射單元，使其諧振於調頻發射機的工作頻率。

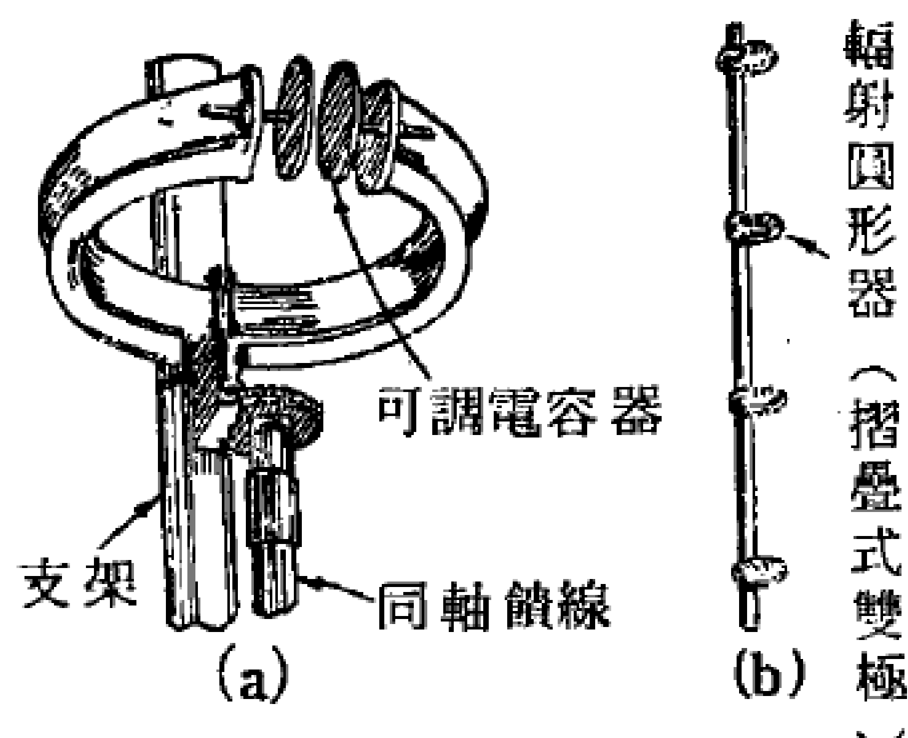


圖 15－191　圓形天線

圖 15－192表示由八輻射單元組成的圓形天線，其最底部的單元爲當工作於107*MHz*時，所測得的水平輻射場強度的圖型。天線桿對輻射圖型的影響甚小，且當其直徑向上遞減時，其效應亦遞減。此輕微的方向性效應，在某些裝置中，有其優點。

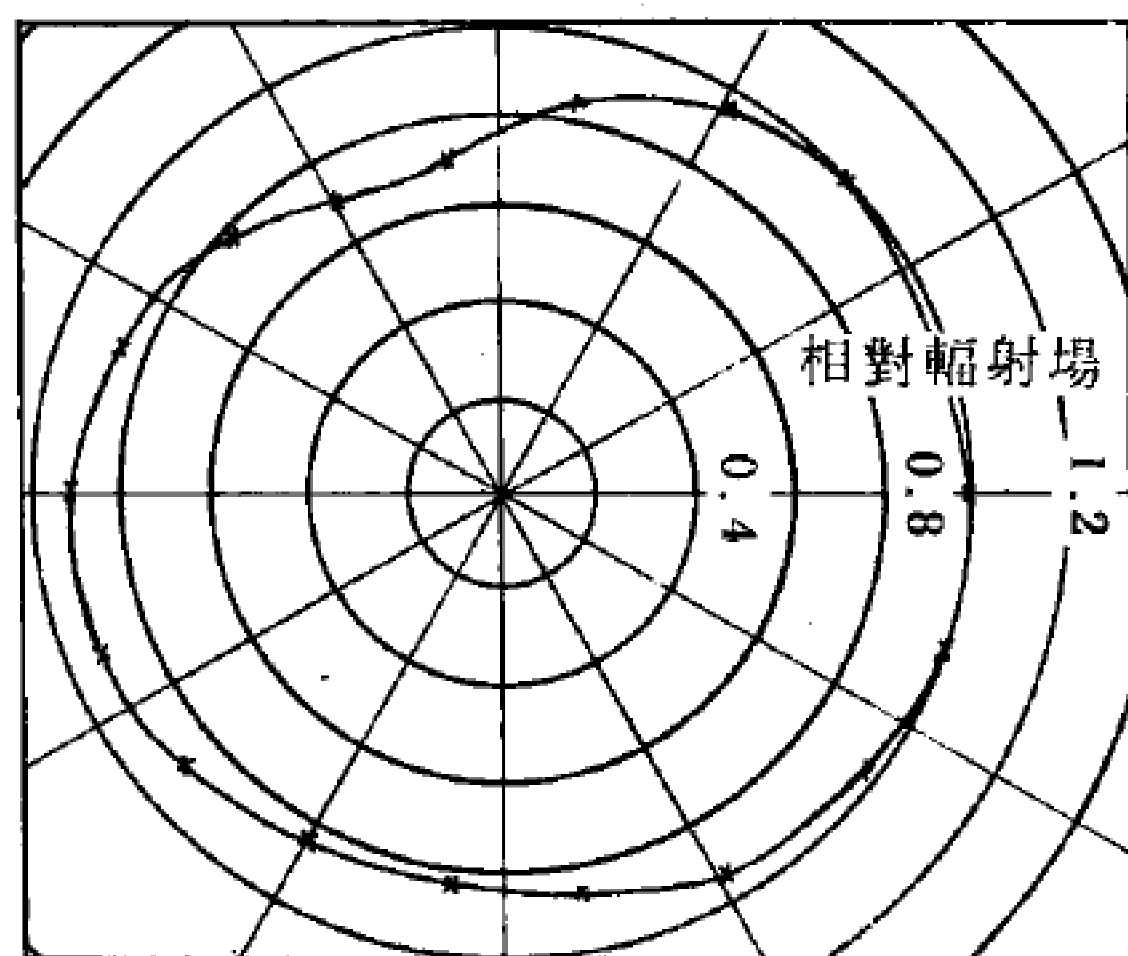


圖 15－192
八輻射單元組成的圓形天線，其最底部的單元，當工作於107MHz時的水平輻射場強度的圖型。

當輻射單元數目增加時，垂直輻射圖型降低。圖 15－193所表示的數條曲線，係根據“相對輻射場強度”對“自水平之仰角”的關係而繪成。當輻射單元增加時，垂直輻射圖型經常向下擠向一點。當用十二單元時，均擠向自水平位置的仰角約 5° 之處。在此圖中，二個單元間距一波長的空間，且發現若用二單元圓形天線，其功率增益爲 1.7；四單元者爲 3.63；六單元者爲 5.50。

2. 正交叉式天線——正交叉式天線係由布朗 (*G. H. Brown*)

所發明，是用於調頻廣播發射之最早的天線型式。主要爲二個互在其中心點正交的雙極天線，置於水平位置，有等量的功率饋至每一部分。每一雙極天線的激勵方向，互差90°。後來又有很多的變相方式，但均可產生如圖15—194所示的大致呈圓形的水平輻射圖型。所含正交叉的單元愈多，則功率增益亦愈大，因其垂直輻射的功率減少，而水平輻射的功率增加。

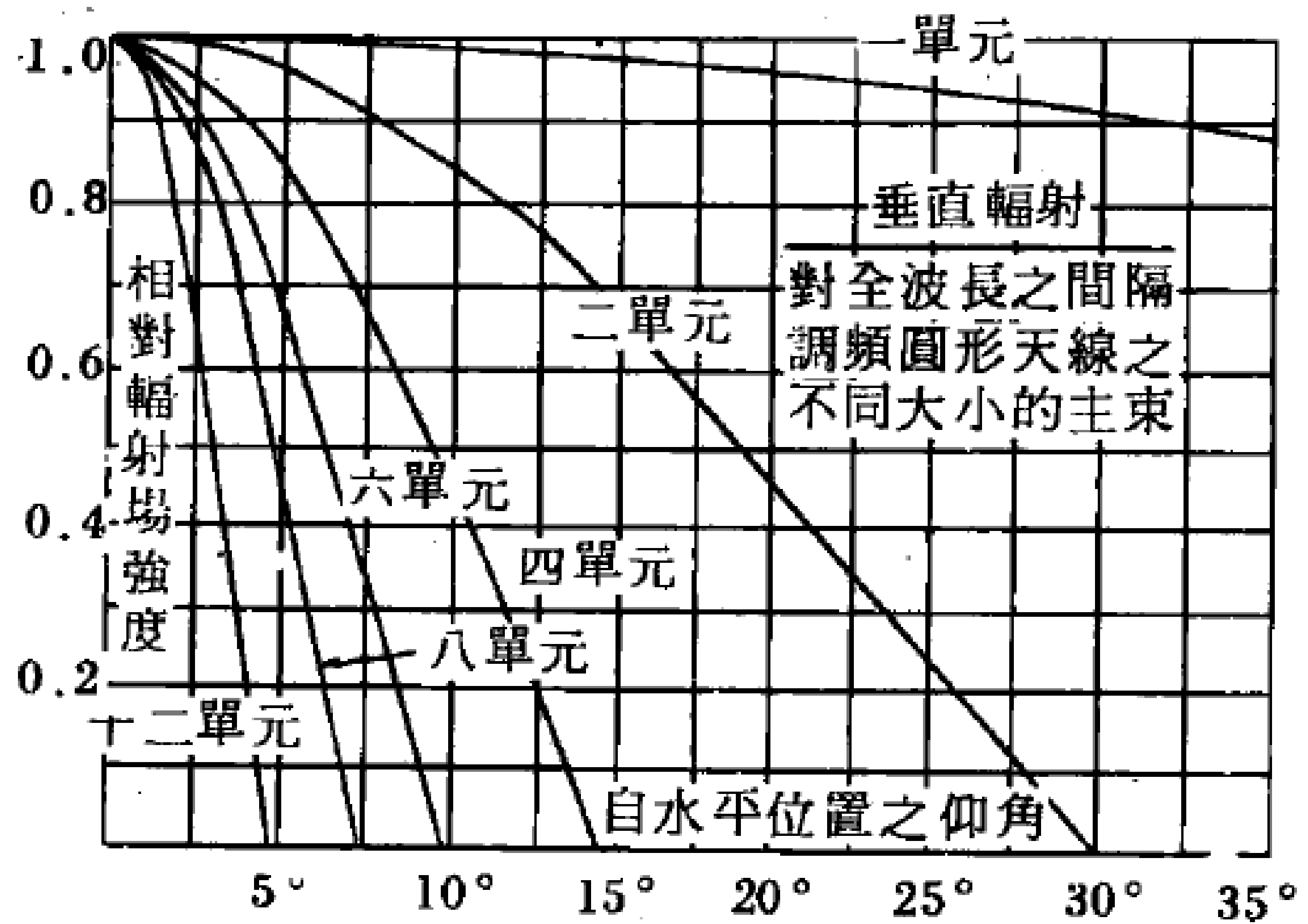


圖 15 — 193　圓形天線的垂直輻射

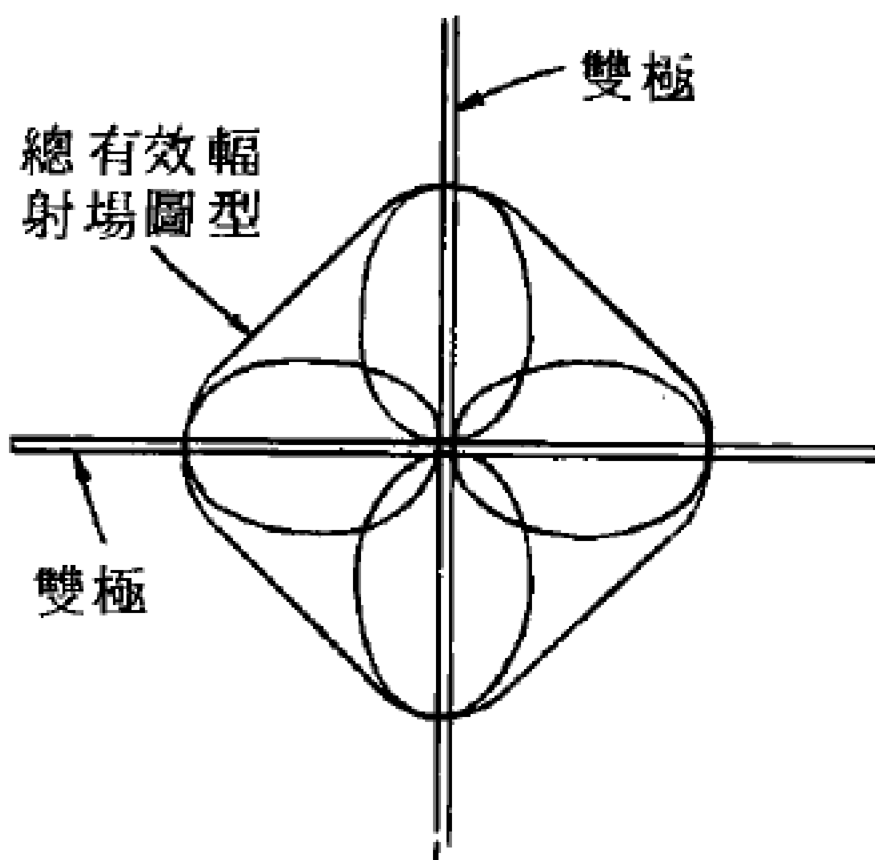


圖 15 — 194
單一正交叉天線的水平輻射圖型

圖 15 — 195 表示二種不同型式，(*a*)圖中包含四節，每節各含二正交叉的半波長雙極；(*b*)圖中亦包含四節，但每節各含二互爲正交的半波長摺疊式雙極。

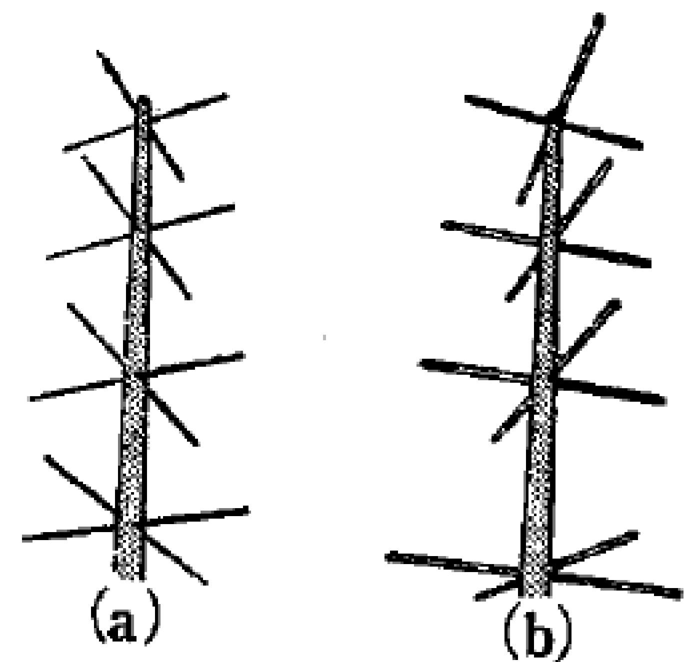


圖 15 — 195
正交叉式天線

在大多數多元天線中，二單元的間隔，常等於工作頻率之波長的一部分，其實值常隨不同的天線而異。但一般言之，其選距原則，常能使每單元的一部分垂直輻射與鄰近單元者相抵銷，而使水平輻射增加。當單元數目增加時，可使垂直輻射更有效地抵銷，而水平輻射則更增，亦即增加其功率增益。

3.披隆天線——披隆天線主要為一長的金屬片，將其捲成一圓筒形，但有一開槽（*slotted*）部分。圖15—196(*a*)表示其二單元，而(*b*)為其橫截面之放大。功率饋至槽中，槽卻具有輸送線的作用，而以整個圓筒面積作為輻射體。亦可視披隆天線為由無數圓形天線一個個疊置而成，而每一圓形天線即為一輻射體。

天線的直徑，可決定其水平輻射圖型，亦決定其諧振於所需頻率的每節之長度。槽的寬度，則為其輸入阻抗的最重要決定因素。所用節數愈多，則其水平輻射及功率增益亦愈增。

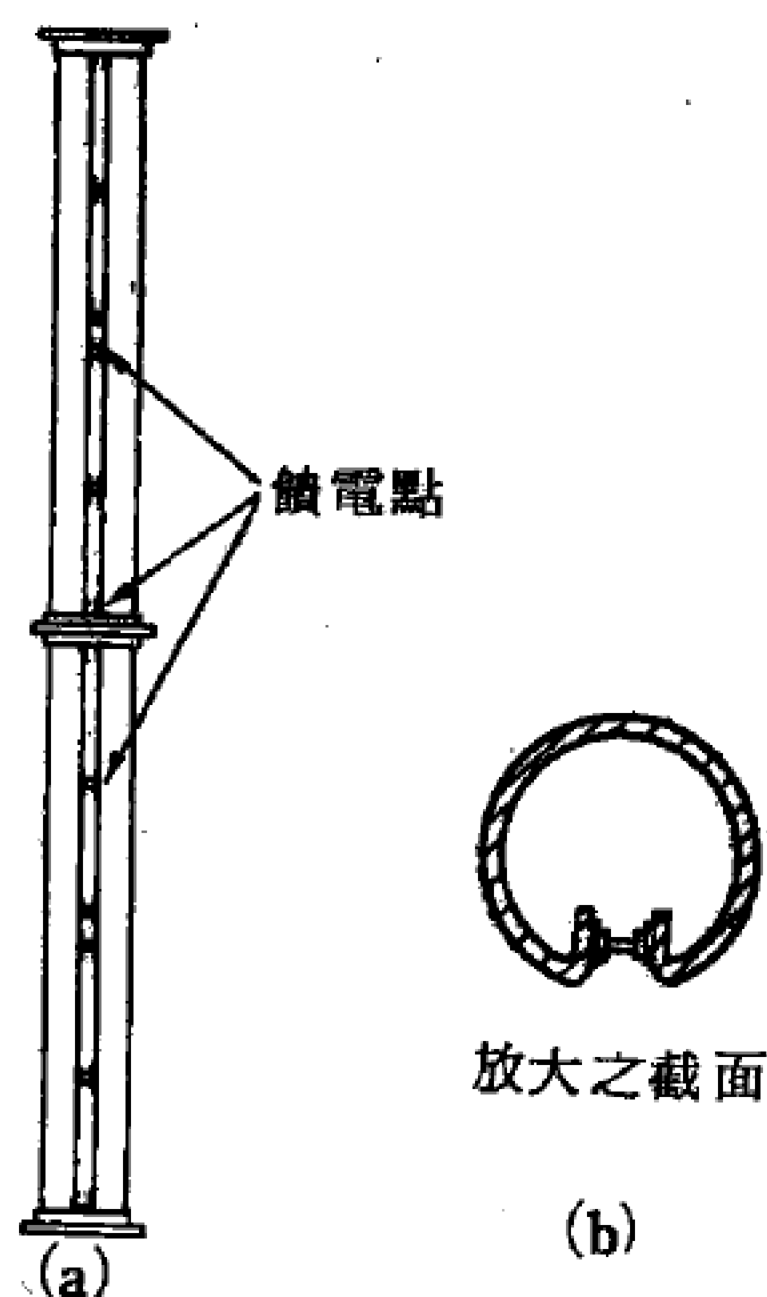
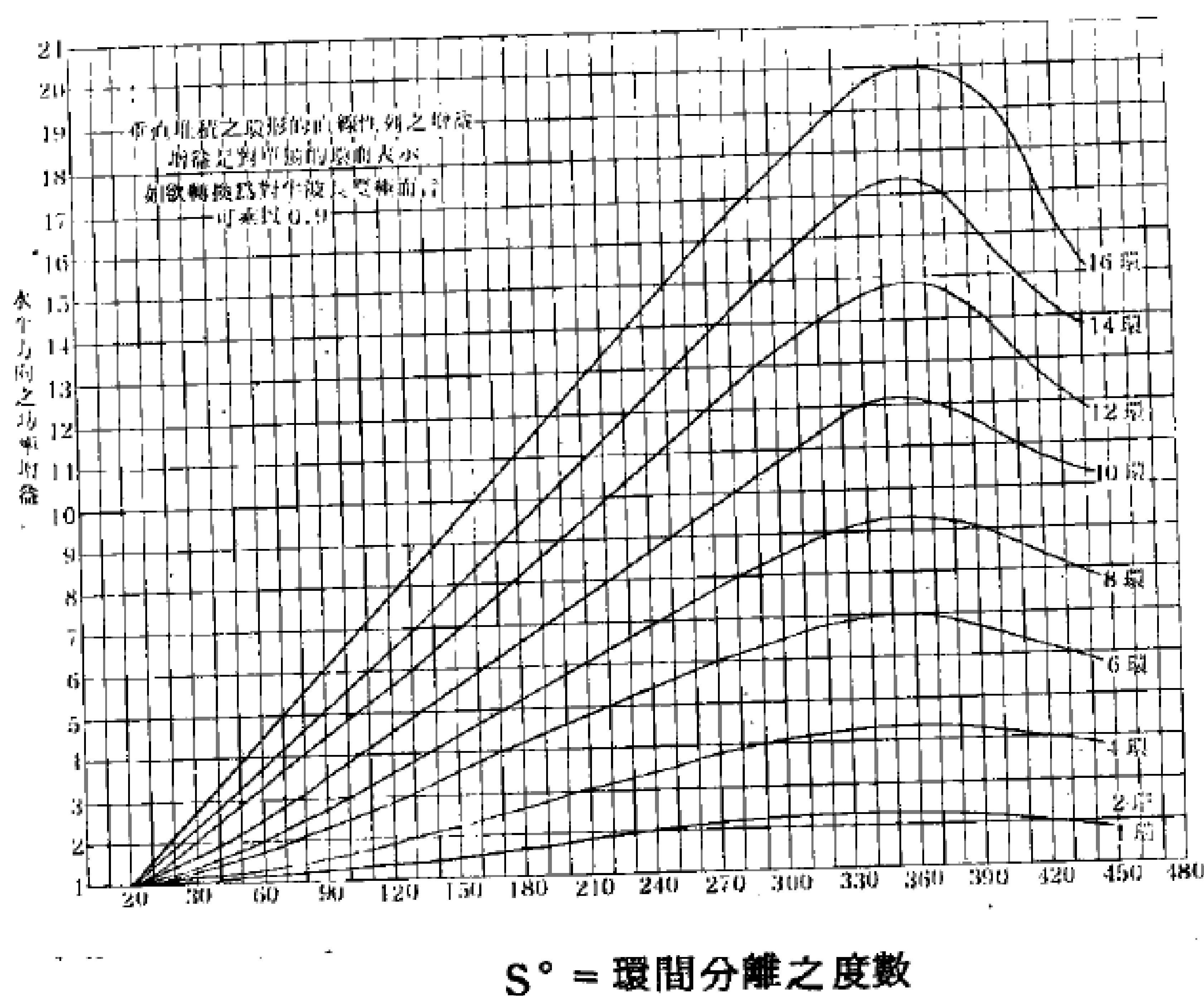


圖15—196　披隆天線



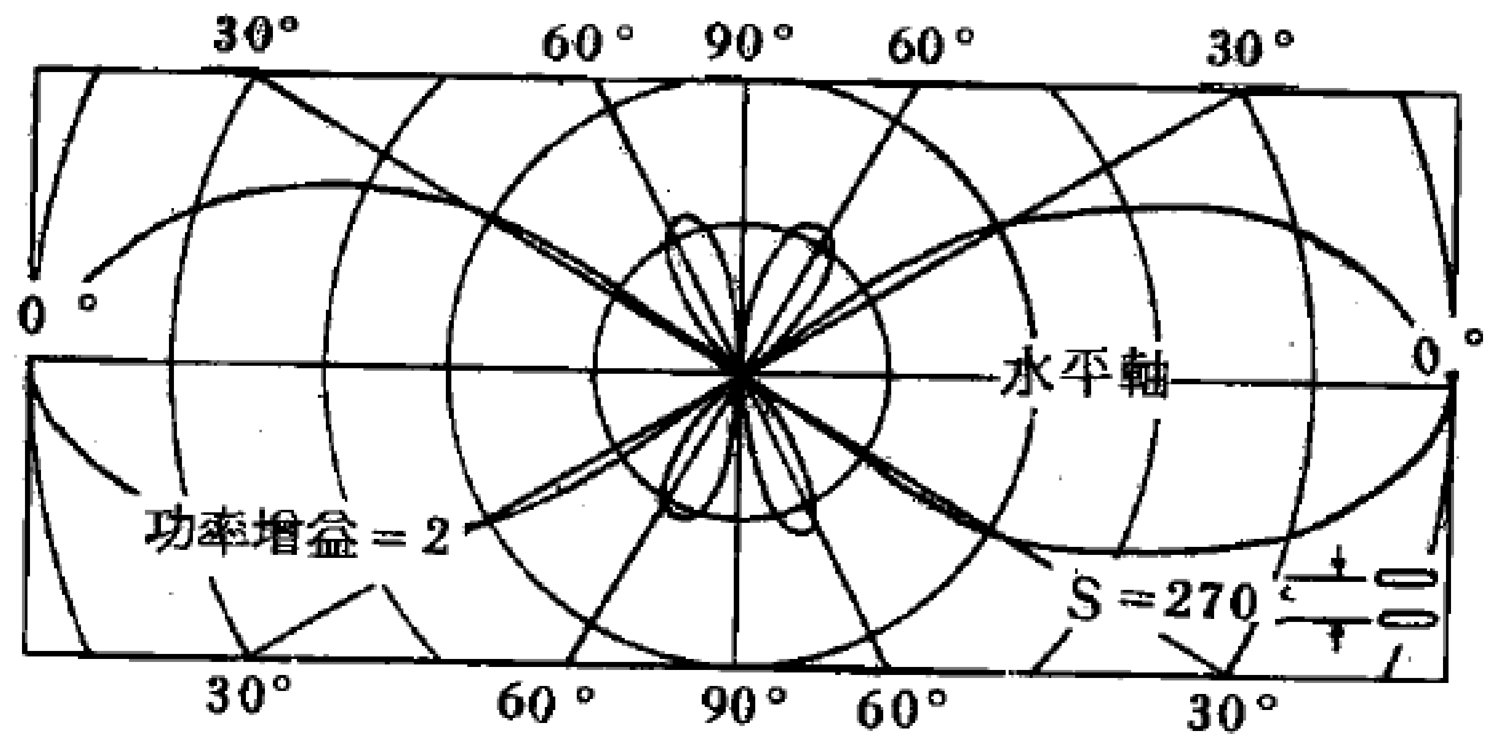
S° = 環間分離之度數

圖15—197　方環形天線的水平功率增益

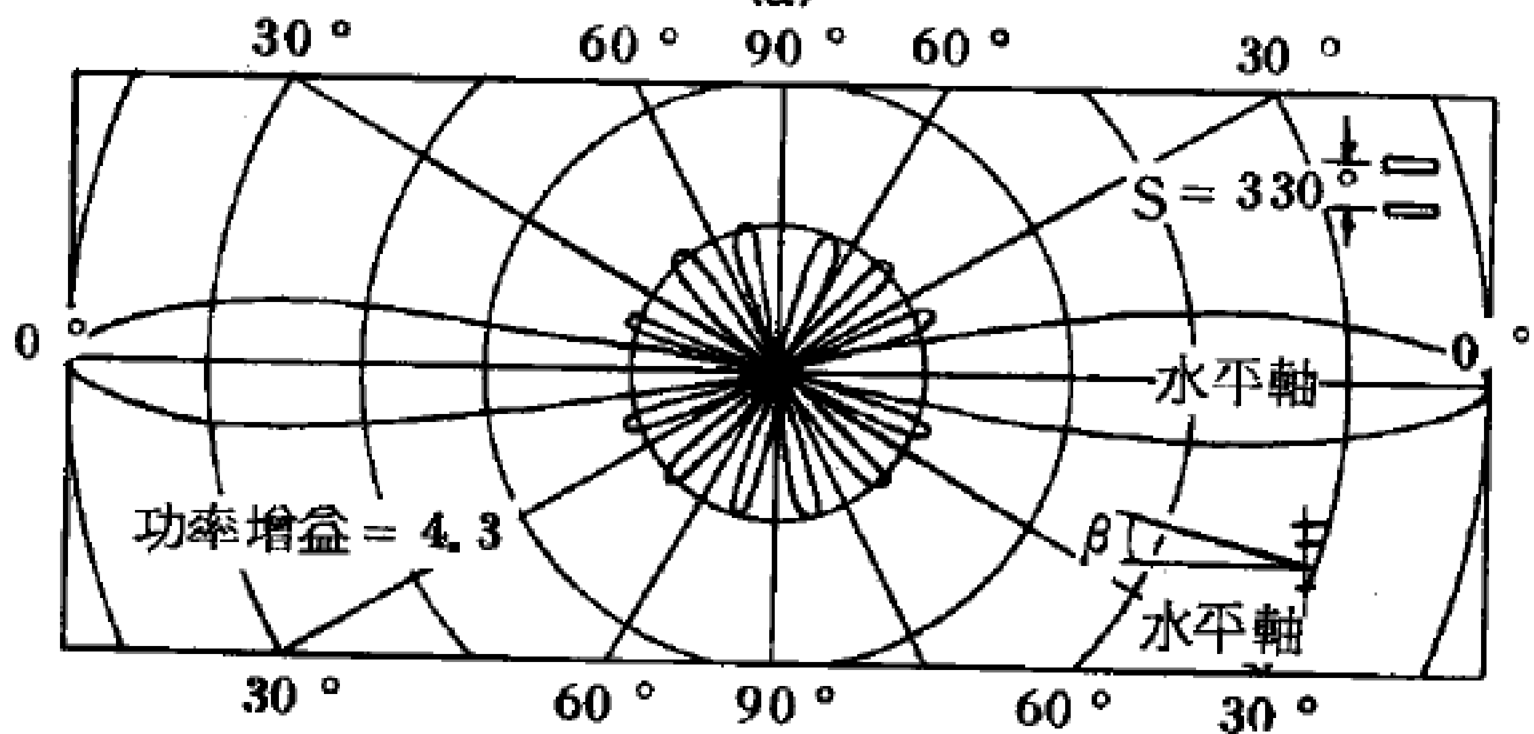
4. 方環形天線——若所用的輻射單元數目相同，則方環形天線可較圓形或正交叉式天線的增益爲大。每環間（每單元間）的距離約爲調頻廣播波段之中心頻率的波長之 330°（一波長等於 360°）；方環的每一邊約爲半波長。

圖 15－197 所示係數個不同的環形天線，其環形間的距離（以度數表示）對水平功率增益而繪成的曲線。可見環形數目增加時，其功率增益亦增，因垂直方向的功率減低。又當環形間的間隔約爲一波長（ 360° ）時，諸環形組合可得實效上的最大功率增益。

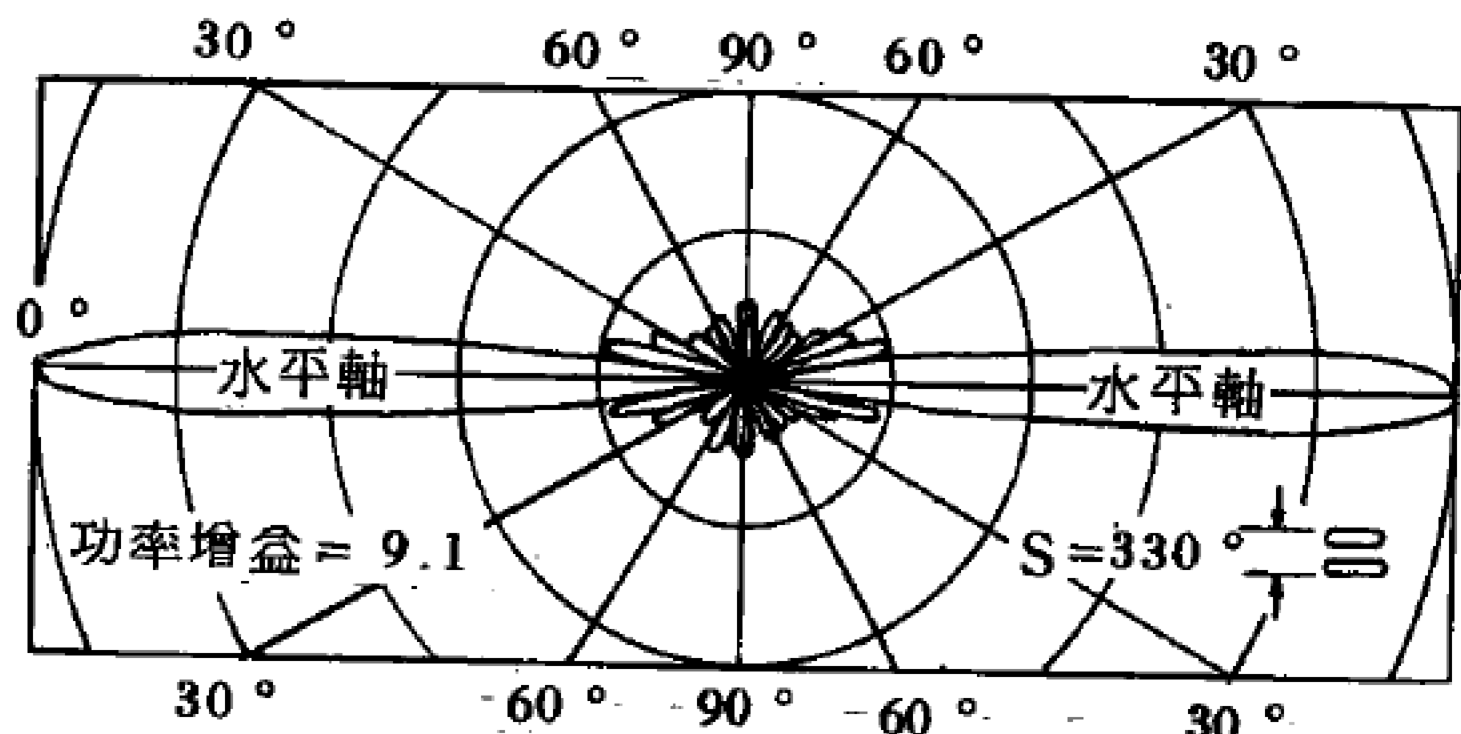
圖 15－198 表示三種不同的環形組合，即各爲 2 ， 4 及 8 個環形組合的垂直輻射圖型。圖中表明其功率增益及環形單元間的距離，可對照圖 15－197 ，以校驗這些功率額定值，而發現其正確性。



(a)



(b)



(c)

圖 15－198　不同組合的方環形天線的垂直輻射圖型

水平輻射圖型若用數學加以計算，其圖型則呈一方形。因此項計算

，對每一方環之半波長元件的末端效應（ *end effect* ）不予考慮。端效應對天線上電壓及電流的分佈，有某些特殊意義。若對此點加以考慮，則其水平輻射圖型與實際所測得者一樣，如圖15 — 199所示，均呈圓形，合乎所需。

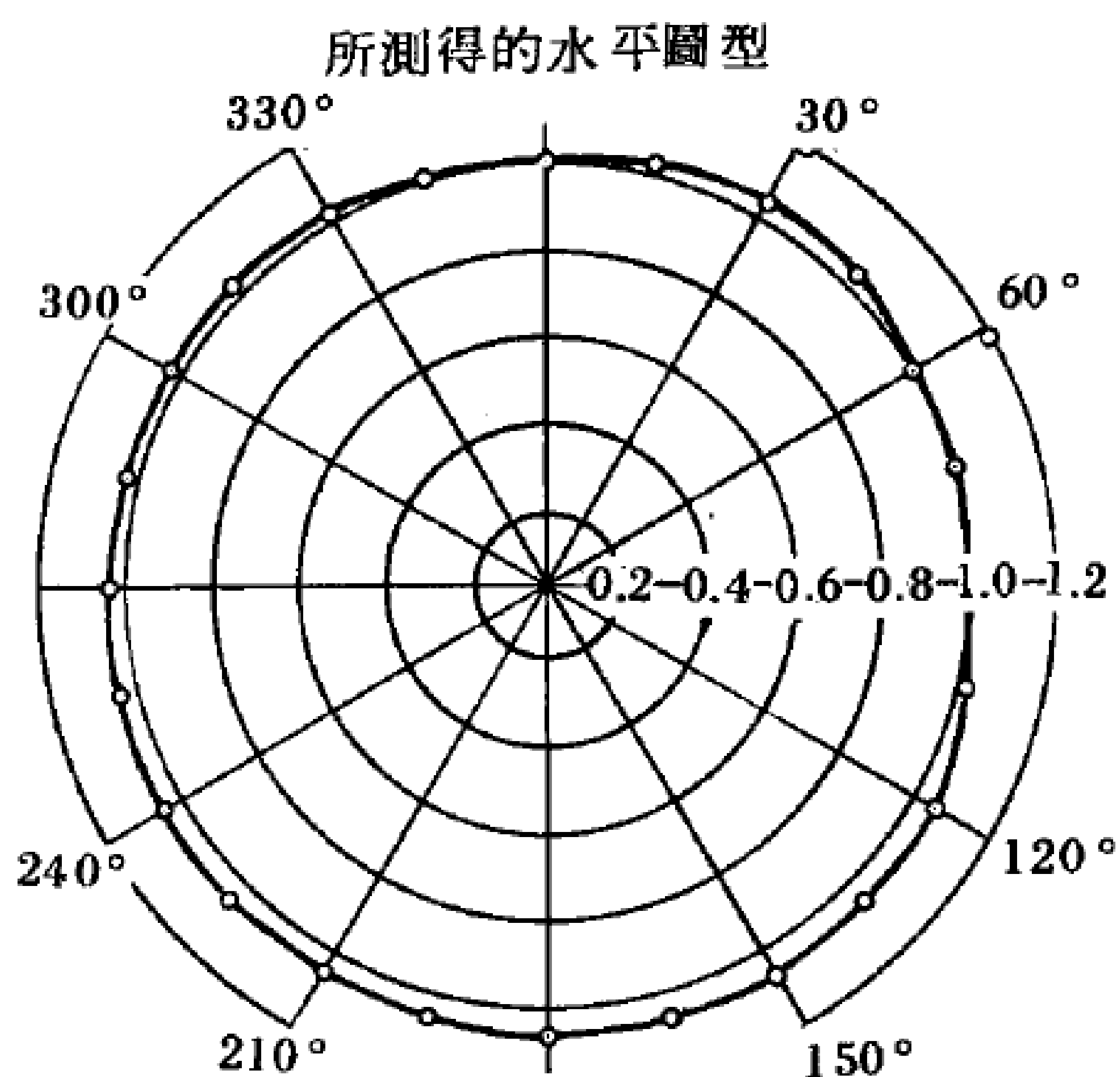


圖 15 — 199
方環形天線的水平輻射圖型

此等天線中，究竟採用那一種，應由下列因素決定：

(1)輸送線對輻射元件的阻抗匹配。

(2)服務面積中的地形狀況。

(3)服務範圍的大小。

有關天線其他應考慮事項，以功率增益之觀點而言，決定所用天線程式的主要因素，爲天線的位置及其在平均地形（ *average terrain* ）上的高度。

調頻發射天線須儘可能置於高處，使輻射之波被導向至更遠離地面處，使產生地面反射波的機會少。用此方法及因水平增益的增加，可使包涵面積亦增加。換言之，天線愈高，對一已定的發射功率輸出，其所包涵的面積亦愈大。

在裝置一天線時，對天線的影響亦應有所考慮。除天線本身外，天線桿支架的結構，亦應有堅實的機械設計。二者均須能耐強風及冰雪。

【調頻檢波器】（ Frequency modulation detector ）

調頻檢波器的作用，是從已調頻的載波中，將原來的聲頻調制信號電波分出，其目的與調幅檢波器相同。由於已調頻載波信號的性質不同，調頻檢波的程序，與調幅檢波器在實質上完全不同。關於調頻檢波，

可分爲兩步。第一是先將已調頻載波的變動振幅先予切平或限制，使其有相同大小的振幅而只有頻率之變化。此種處理程序是必要的，因爲到達接收天線的已調頻載波振幅，受雜波影響，已有變動。如果振幅有變化的載波振幅通過檢波器，將引起有雜波及失眞的接收狀況。關於切平已調頻載波信號的振幅，是利用調頻限制器（*F.M. limiter*）完成的。

調頻檢波的第二步，是需從檢波器的輸出，得一隨載波頻率變化的輸出電壓。換言之，對於一未調頻載波，檢波器的輸出電壓應爲零或某一定的直流電壓；對已調頻載波，其輸出電壓則隨載波的頻率而變化。此程序由鑑頻器（*discriminator*）所完成。

【調壓水反應器】（**Pressurized - water reactor；P.W.R.**）

調壓水反應器爲美國正致力發展的一種設計，因爲這種設計，可望成爲一種基本的船用推進反應器（*basic marine-propulsion reactor*），或成爲一種動力生產單位。這是一種使用濃化燃料（限度視緩速劑而定）的熱反應器（*thermal reactor*），濃化燃料係裝在鋯合金（*zircaloy*）或不銹鋼的套子之內。混合冷卻劑和緩速劑是普通的水或重水，爲避免沸騰，對這些水都保持著高壓（到達每平方吋2,000磅）。調壓水（*pressurized-water*）由心子到達換熱器，溫度約在250°*C*左右，然後在冷卻狀況下回到反應器（如圖15－200）。

鋯（*Zr*）及鋯合金因爲和鈾燃料接觸或和反應器中的水接觸時，都具有抗腐的特性，所以這兩種東西在水冷卻的設計上都具有特殊的重要性。對含有氮（*N*）痕跡的水，輻射效應之一就是會形成稀硝酸（*nitric acid*）溶液，因此會侵蝕很多傳統的材料。

調壓水反應器的優點爲價廉。對於既定的動力輸出，這反應器的心子大小，僅相當於氣體冷卻石墨緩和反應器的四分之一。所以就土木工

程方面說，資本費用自可減少。此種設計可以加入*U* - 238 氈子（*blanket*），作爲孳生元素鈽(*Pu*)之用。

但*P.W.R.*構想也有以下的限制：

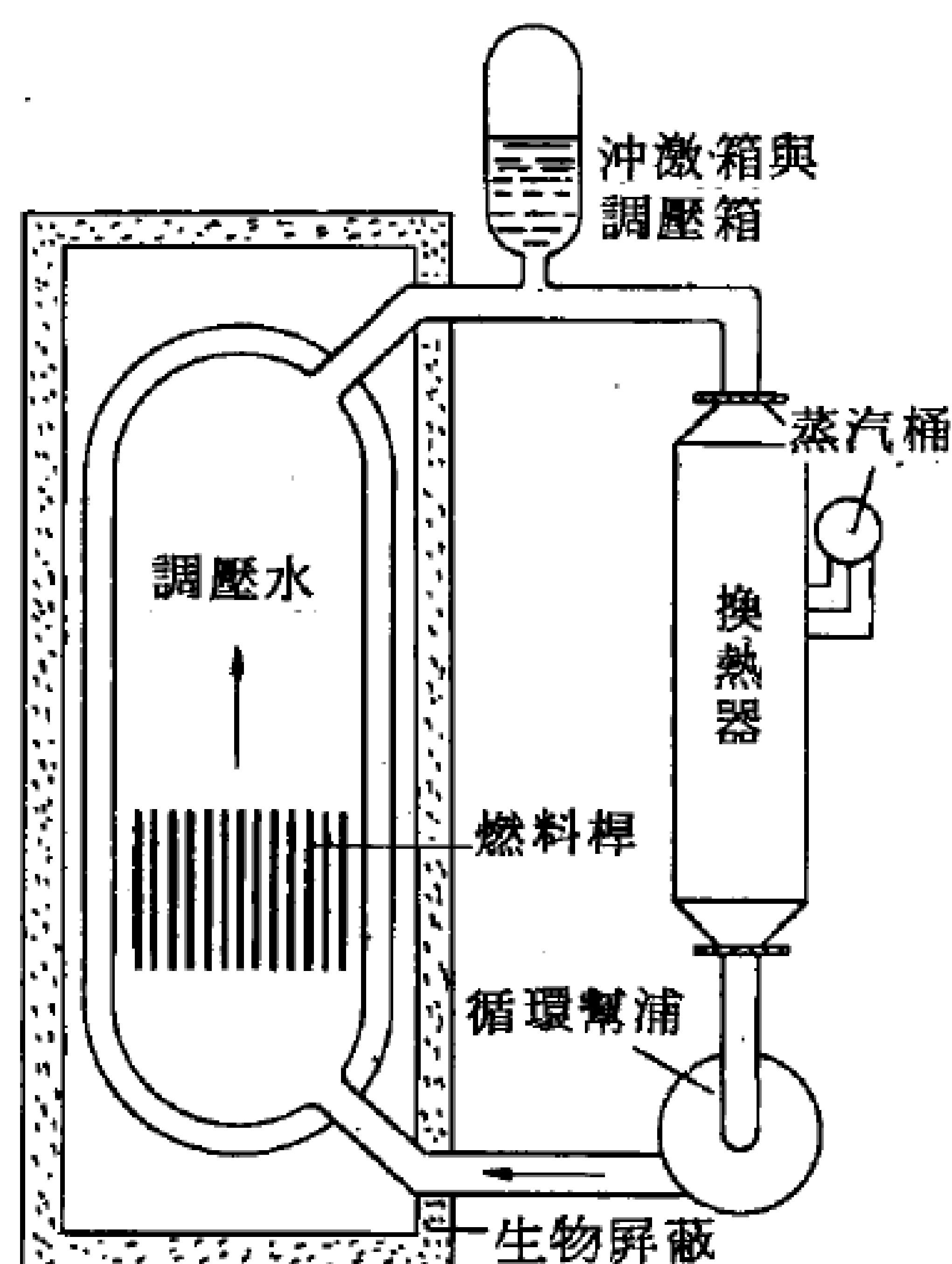
(1)由於使用濃化的鈾，燃料價格較高。

(2)爲預防沸騰，冷卻劑、緩速劑都需要高壓(到達每平方吋2,000磅），因此而增加了容納問題。

(3)對昂貴材料的使用（例如元素鋯），產生有關腐蝕方面的特殊問題。

(4)使用此種反應器，所需的安全裝置較精細，成本自然提高。

(5)輸出的蒸汽溫度較低，因此需要設置獨立的機油過熱器（*oil superheater units*），或需接納低效渦輪（*low - efficiency turbines*）。



中子：熱；緩速劑：輕水或重水;燃料：氧化鈾，或富厚的鈾金屬，如重水緩和，則富厚較少，如輕水緩和，則須富厚較多；容納：裝在鋯台金套內的燃料；冷卻劑：輕水或重水（緩速劑和冷卻劑普通）；溫度：280°C；壓力：每平方吋2,000磅；目的：動力與船用。

圖 15 — 200　調壓水反應器

【質子】（Proton）

自 1879 年克汝克士（*Crookes*）發現陰極射線後，很多科學家致力於此項現象之研究。1886 年德國物理學家哥德斯坦（*E.Goldstein*）改裝陰極射線管，以多孔之金屬片替代原有之陰極，結果發現在放電時，陽極之對面，有閃光線條自金屬片之孔中射出。1895 年帕倫（*J.Perrin*）研究這種射線，認爲此射線帶有正電荷。1898 年維恩（*W.Wien*）研究此種射線在磁場或電場中之偏折情形，證實了帕倫之理論，1907

年湯木生乃定其名爲正射線或正極射線（*positive rays*）。

正射線除電性與陰極射線不同外，其質量亦遠較電子爲大，同時其質量亦隨放電管中之氣體而異（陰極射線管中放出之電子

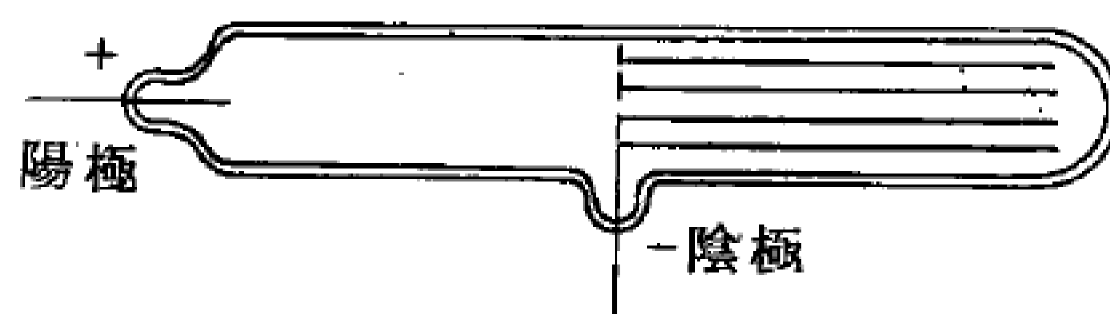


圖 15 — 201　正極射線管

，其質量與電荷均與管中之氣體無關）。故正射線爲管中氣體游離後帶正電之原子或分子（正離子）組成。1914 年英國物理學家拉塞福（*Ernest Rutherford*）發現最小之正離子，其質量與氫原子相同，其帶電量與電子相等，唯電性相反，稱爲質子。通常質子均以 p 或 ^1_1H 表之。

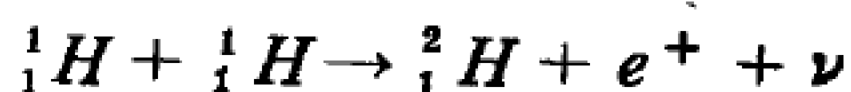
質子實爲帶正電荷之氫原子核，氫原子由一質子與一電子組成，當高速電子撞擊氫原子時，氫原子核外之電子被撞出，遂形成質子。實驗室中使用之質子，是利用氫氣放電所產生的。

質子之體積非常微小，通常可以忽略不計。其有效半徑，可由一高速質子撞擊其他質子之實驗中予以定出。質子之半徑約爲 3×10^{-15} 米。

帶有一單位正電荷之基本粒子。荷電量與電子相當，其質量爲 1.6725×10^{-24} 克，與中子相似（$1.6748 \times 10^{-24} g$），約爲電子質量的1,837倍，也就是普通氫原子的原子核。質子是所有原子核的組成物。所謂原子序數就是原子核中的質子數。

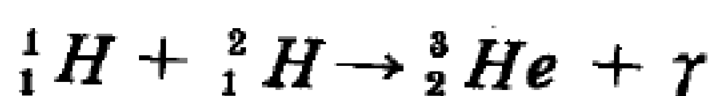
【質子、質子反應】（**Proton - proton reaction**）

乃由兩個質子互碰開始，經過一連串的反應，再變成氦，這是星球上產生能量的原始過程，其反應過程如下：



$$^1_1H + ^1_1H \rightarrow ^2_1H + e^+ + \nu$$

（平均反應時間 14×10^9 年）



$$^1_1H + ^2_1H \rightarrow ^3_2He + \gamma$$

（平均反應時間6秒）



$$^{3}_{2}He + ^{3}_{2}He \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{1}H + ^{1}_{1}H$$

（平均反應時間9×10^{5}年）

上述之平均反應時間以近似太陽中心的情況爲準，在太陽中心$T = 15 \times 10^{6}$ °K，$\rho = 150$克／立方厘米。總能量的產生率與T^{4}成正比，且由第一式的反應所限制，因這反應最慢。第二和第三式反應太快，故在星球中^{2}H和^{3}He的平衡濃度都非常低。這三次過程的淨效應是將四個質子變成一個氦（$^{4}_{2}He$）原子核及二正電子，釋出的總能量按（Δm）c^{2}計算，Δm是四質子的質量與一α粒子和二電子質量之差，得能量值爲24.7MeV。圖15—202陳示質子、質子反應的全部順序。太陽產生能量的主要反應就是質子、質子反應。

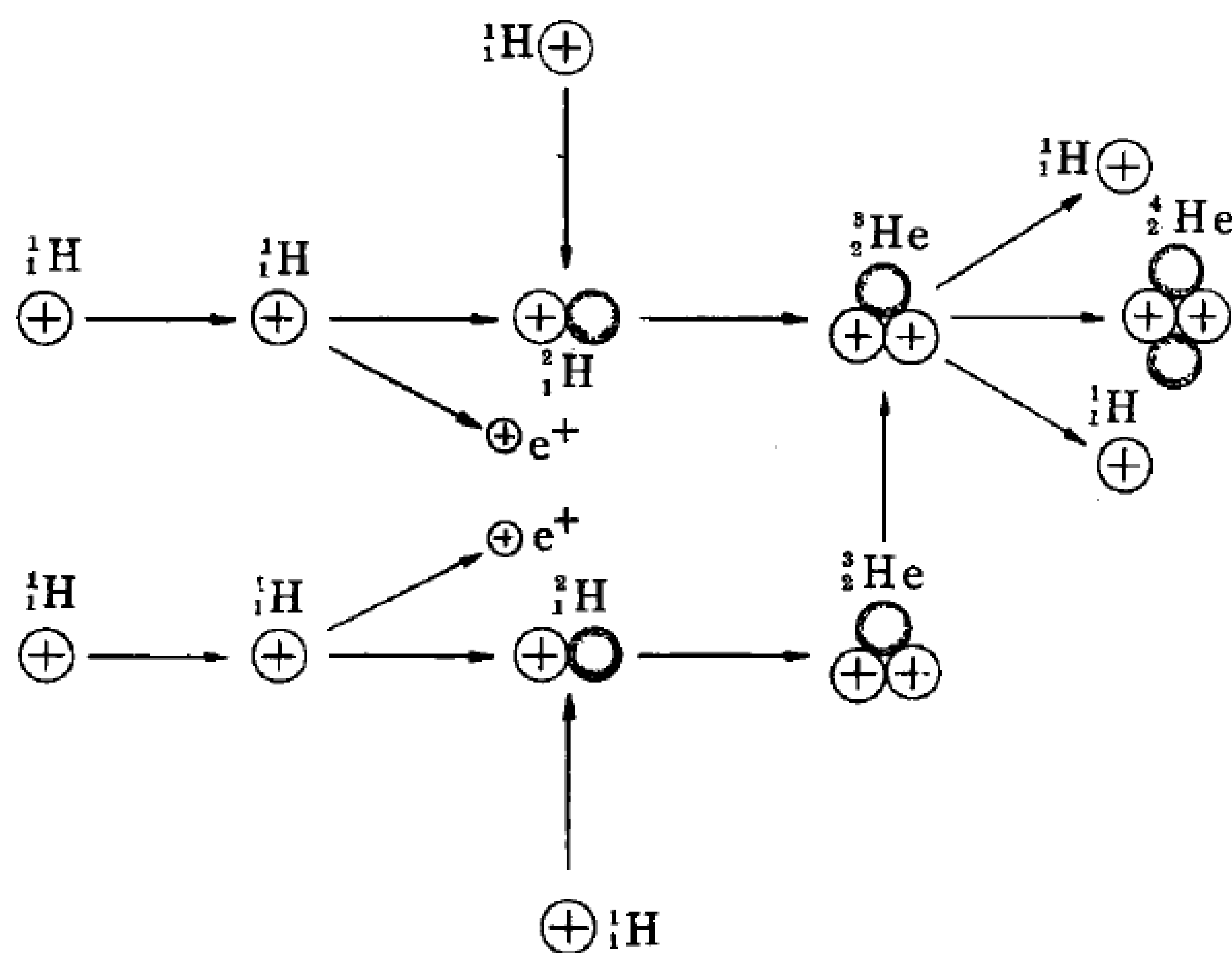


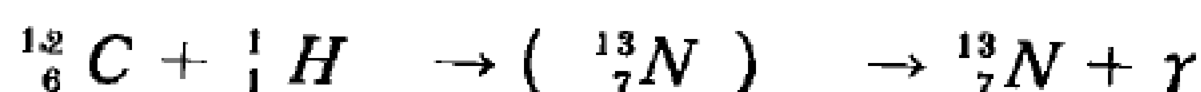
圖15—202

【質子同步加速器】（Proton synchrotron）

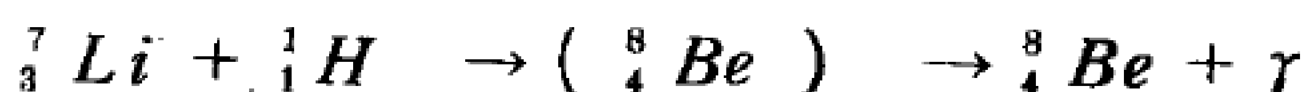
一種用以產生非常高能量（通常是幾個BeV）的質子射柱的加速器。

【質子捕獲反應】（Proton capture reaction）

被擊之原子核，於捕獲一質子後，形成新原子核，而放出γ射線，故此反應又可稱爲p－γ反應，例如：



$$ {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow ({}^{13}_{7}N) \rightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma $$



$$ {}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow ({}^{8}_{4}Be) \rightarrow {}^{8}_{4}Be + \gamma $$

此種反應乃是由於被擊原子核，於捕獲質子後，變爲一處於激發態、原子序加 1 之新核；當其由激發態“跌落”至基態時，多餘之能量以電磁波之方式（ γ 射線）放出。

【質光曲線】（Mass - luminosity curve）

由恆星質量與光度（發光本領）關係調製而成之曲線，稱爲質光關係曲線或質光曲線。質光關係係英國物理及天文學家愛丁頓（*Eddington*）於 1924 年出版之英國皇家天文學會刋物上發表之質光關係曲線圖，係以質量爲上橫坐標，並以太陽質量爲一，下橫坐標以太陽質量之對數爲零作基點。左縱坐標則以絕對測熱星等（*absolute bolometric megnitude*）之 − 4.5 等爲起點。右縱坐標爲恆星之眞發光本領（*intrinsic luminosity*），亦以太陽發光本領爲一。圖內太陽、蝕雙星、造父變星及第一、二類測定之恆星均經愛丁頓予以適當位置。全圖之曲線平順。

參閱“質光關係（*Mass - luminosity relation*）”條。

【質光關係】（Mass - luminosity relation）

設以絕對星等或絕對測熱星等（*absolute bolometric magnitude*）和質量對數（*logarithm of mass*）對比之適當位置調製成圖，則圖內曲線近乎光滑平順。這種關係係英國數學家天文家天文物理學家愛丁頓（*Sir Arthur Stanley Eddington*）於 1924 年發表。近代，決定恆星等級及其質量時，此關係之實用價值頗大。

從愛丁頓所發表之質光關係中，可以看見當恆星發光本領增加時，其質量亦相對增加。恆星如具有絕對星等 − 2.5 等，則其質量約爲太陽之十二倍。如恆星之絕對星等爲零等，則爲太陽質量之四倍。恆星之質量如與太陽相同，則其絕對星等爲 4.8 ，如質量爲太陽之三分之一，則

該恆星之絕對星等爲十等。下表數字係依據太陽爲準者。

質　　量	發光本領（光度）
32	3,300
8	330
2	13
1	1
3/4	1/6
1/2	1/50

【質能方程式】（**Mass-energy equation**）

即愛因斯坦方程式（*Einstein equation*）。

【質能相當性】（**Mass-energy equivalence**）

在相對論中，質量在相對運動系統的變換是

$$m(v)=\frac{m(0)}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$m(0)$ 是靜止質量，動能 T 則是

$$T=m(0)c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}-1\right)$$
$$=m(v)c^2-m(0)c^2$$

因此，在速度爲零時，動能爲零。若將 $m(0)c^2$ 視爲靜止時物質的能量，則總能量 E 應是動能與 $m(0)c^2$ 之和，則

$$E=T+m(0)c^2=m(v)c^2$$

此關係稱爲質能相當性，說明質量可視爲相當的能量 mc^2，而能量也可以合成一定的質量，亦即質能互換。

【質能關係】（**Mass-energy relation**）

1905年愛因斯坦（*Albert Einstein*）發表其著名之質能關係公

式：

$$E = mc^3$$

每單位之任何種能量E供予物體時，物體質量增加之量爲

$$m = E / c^2$$

式中E爲能，m爲質量，c爲光速。如以公制爲單位，此公式中能之單位爲爾格（*ergs*）。爾格爲極小之機械能單位，一爾格大約等於一隻蚊子跳躍一厘米高所需之能。質量單位爲克（*grams*），光速爲3×10^{10} *cm/sec*，因光速之值極大，故以極小之質量即可轉變爲巨大之能。

愛因斯坦之質能關係，在物理學上具有革命性觀念，目前已廣泛應用於核能上。

【質量】（ **Mass** ）

爲物理上對於物體的主要慣性的量度。所謂主要慣性是指對於平移運動方式之改變的反抗性，至於轉動運動方面的慣性，則由慣性矩表示其大小。當運動速率遠小於光速c時，物體質量幾乎與速率無關。這時候，我們可使兩物體相作用（例如相碰撞），比較兩物體的加速度的大小$|a_1|$及$|a_2|$，而得其質量m_1和m_2的比值：

$$m_1 / m_2 = |a_2| / |a_1|$$

若其中一物體爲標準物體（例如標準仟克），則可得到另一物體的質量。

事實上，根據特殊相對論，質量是隨速率v而異的，其關係如下：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

式中m_0是與物體相對靜止的觀察者所測得該物體的質量，m則是以v的速率相對於該物體運動的觀測者所測的質量。當$v \ll c$時，$1/\sqrt{1 - v^2/c^2} \approx 1$，所以當速率很小時，質量幾乎與速率無關，但在高

速運動時，就必須考慮速率的影響。

上面所說的質量又稱為慣性質量（ *inertia mass* ）。若以在一固定位置的大質量物體（如地球），對不同物體所施重力 F_1 及 F_2 的大小來比較

$$m_1 / m_2 = F_1 / F_2$$

而得的質量值，則稱為重力質量（ *gravitational mass* ）。

相對論中的等效原理陳述重力質量和慣性質量相等，事實上一切實驗證據也支持這點。

由於牛頓的萬有引力定律，或說是由於愛因斯坦所指出的重力質量和慣性質量的等效性，相等的質量在重力場中同一位置所受的重力相等，所以藉天平或彈簧秤可比較不同物體的質量。

質量的重要性在於它是守恆量，不會被毀滅或被創造。因此，一個孤立系統的質量是常數。在特殊相對論建立之後，人們發現能量 E 和質量 m 所代表的是同一量，他們之間的關係是愛因斯坦質能關係式，即

$$E = mc^2$$

質量與重量並不完全相同，重量是在動的影響下所作用的力；但在實用時，同一地方卻可以用重量來比較兩物體質量的多寡。在空間物體可能失掉一部分或全部重量，但構成物體之質量卻未消滅。質量與場所無關，是物體固有而一定不變的量。

質量是比較出來的，任何合理而有系統的比較方法，都可以用來測定物體的質量。一般比較質量的方法是採用天平。

我們可以用等臂天平的原理來給質量下一定義；等臂天平（圖 15 — 203 ）就是支點在其中點 O 的對稱式天平。當兩個物體 C 及 C' ，各被置於一盤中，能使此天平保持平衡時，我們就說這兩個物體的質量相等。實驗證實，假如天平在地面上某一地點呈平衡狀態，則在其他地點也呈平衡狀態。因此質量的相等性（ *equality of mass*）就是物體的

一個特性，不因它們受測量時的所在地之影響。如果C'是由標準單位組成，則C的質量可由這一標準質量乘以倍數而算出。由這樣方式算出的質量，事實上是重力質量（*gravitational mass*）。由動力而得來的質量稱之爲慣性質量（*inertial mass*）。質量不同的兩個物體，受同樣大的力時，質量大的物體加速度小，運動不易變化。由這一點可知，質量代表慣性的大小。由這兩種方式量度質量所得的結果並沒有什麼不同。

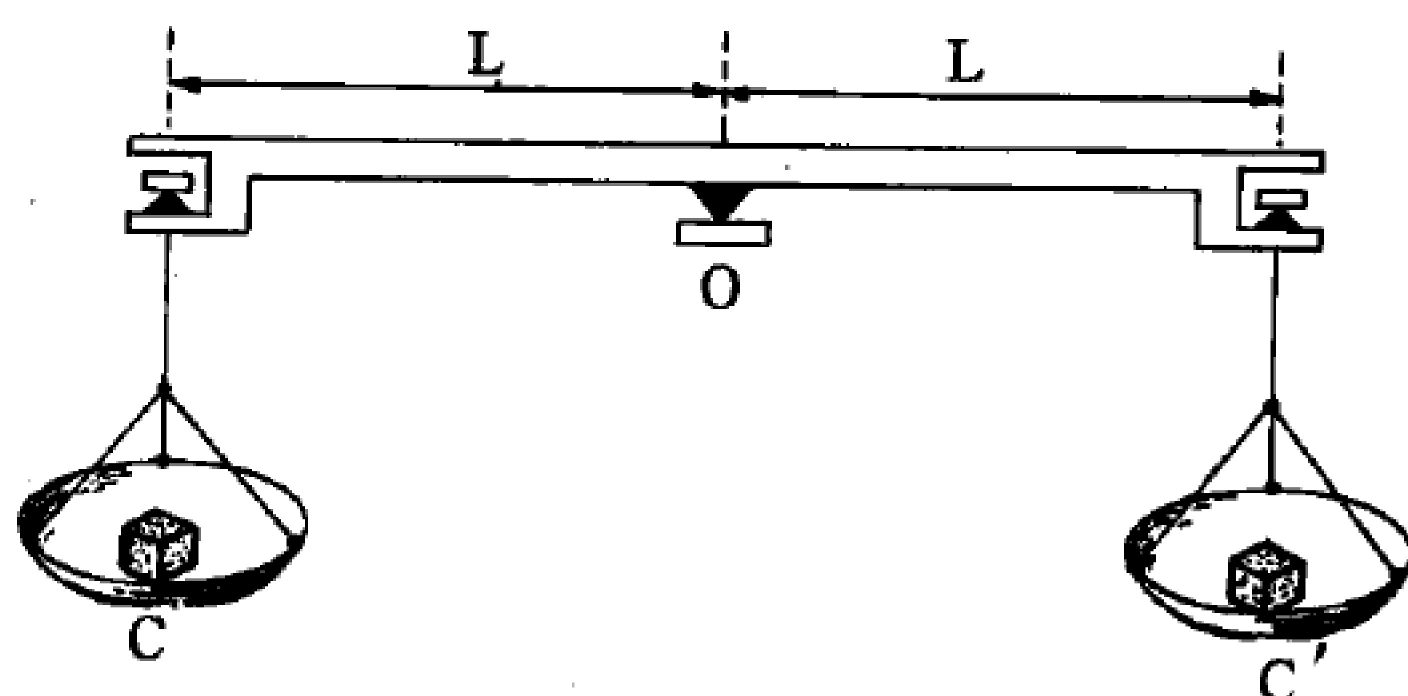


圖 15 — 203　比較兩物體質量的等臂天平

質量通常以克（*grams*）、磅（*pounds*）等單位表示。公制質量的單位是標準公斤（*kilograms*）。

質量之控制單位爲一塊被保存在巴黎之重一公斤之鉑（*platinum*），作爲國際性質量比較標準。在英國及美國亦有標準磅。

質量單位之換算：

1 公斤（*kg*）＝2.2046 磅（*lb*）　1 磅（*lb*）＝0.4536 公斤(*kg*)

1 克（*gm*）＝0.0353 盎斯（*oz*）　1盎斯(*oz*)＝28.3495克(*gm*)

1 公噸（*metric ton*)=1,000公斤　1 公斤（*kg*）＝1,000克（*g*）

1克（*gm*）＝0.001 公斤（*kg*）　1毫克（*mg*）＝0.001 克(*g*)

【質量比】（Mass ratio）

爲表示火箭與其攜帶燃料之關係，爲火箭整體重量與其減除燃料後重量之比。高質量比、高噴氣速度或高比衝量是決定火箭速度和可達距離的最重要因素。考慮地心引力和空氣阻力在內，一個火箭的質量比如是2.72：1時，火箭的速度可達與其火箭引擎噴氣相同的速度，如是7.4：1時可達噴氣速度的兩倍，因此可看出增加質量比也就是改進火

箭能力，這也是發射太空船時多採用多節火箭的原因之一。這種多節火箭是先點燃第一節推動所有的各節至一速度，當第一節燃畢後，第一節火箭即自動脫落，如此可以減輕以後火箭的全重。然後第二節火箭開始燃燒，當燃燒完畢後第二節脫落，如此一節一節的順序發火脫落而使太空船達到所需速度，用此種設計來增加質量比的數值不是用單節火箭所能達到的，此多節火箭的質量比約等於各節火箭質量比的乘積。

【質量中心】(Center of mass)

物體或質點組中的一個特殊點，其運動與單一質點（其質量與物體相同）受相同外力時之運動相同，且整個物體或質點組相對於該點之質量矩的和爲零，我們稱此一點爲此物體或此質點組（ *system of particles*）的質量中心或簡稱爲質心。例如，將一鐵鏈隨意拋入空中，則鐵鏈上每一點對地面之運動情形都不相同，並且極其複雜，不過我們將發現這條鐵鏈之質量中心的運動，與一質量和鐵鏈相同之質點的拋射運動相同，即鐵鏈之質量中心對地面的軌跡爲一拋物線。

若質量m_1，m_2，…，m_n質點的位置分別爲x_1，x_2，…，x_n，則我們可定義這組質點的質量中心（或平均位置）爲

$$x_{CM}=\frac{m_1x_1+m_2x_2+\cdots+m_nx_n}{m_1+m_2+\cdots+m_n}$$

$$=\sum_{i=1}^{n}m_ix_i/\sum_{i=1}^{n}m_i=\sum_{i=1}^{n}m_ix_i/M$$

M爲這群質點的總質量，即

$$M=\sum_{i=1}^{n}m_i$$

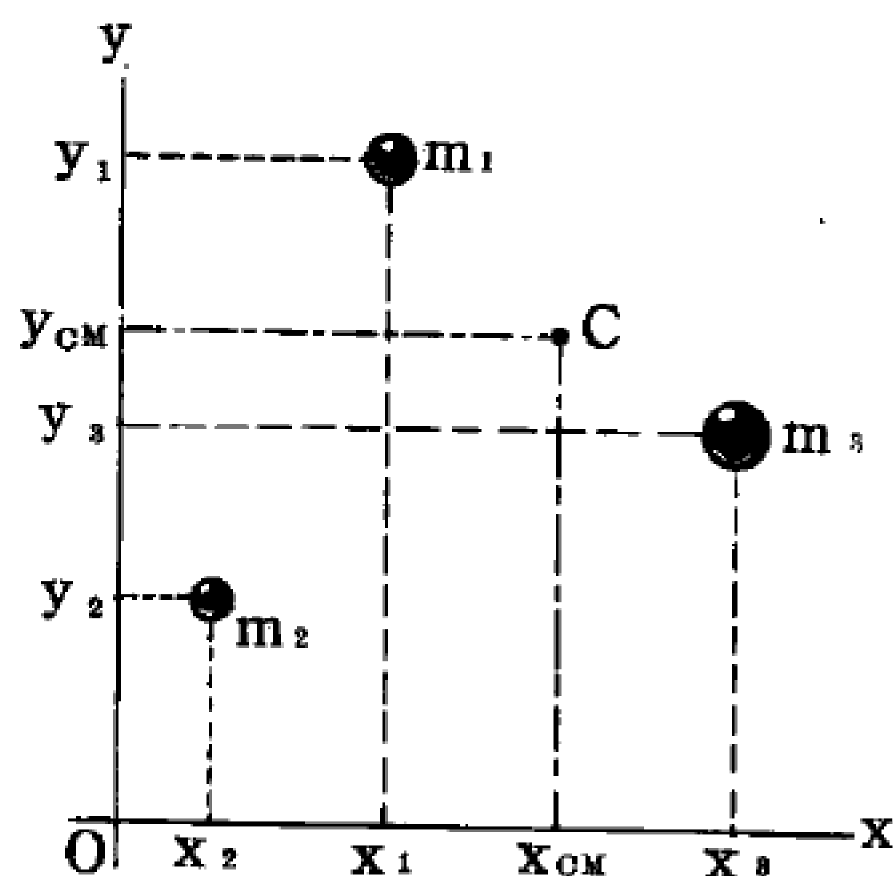


圖 15 — 204
在平面上三個質點的質心

設有三個不在一直線上的質點（如圖 15－204 ），則它們的位置可用這三個質點所形成的平面上的一參考坐標表示。若m_1、m_2及m_3

的直角坐標分別爲（x_1，y_1）、（x_2，y_2）及（x_3，y_3），則這一組質點的質量中心的位置（x_{CM}，y_{CM}）應爲

$$x_{CM}=\frac{m_1x_1+m_2x_2+m_3x_3}{m_1+m_2+m_3}$$

$$y_{CM}=\frac{m_1y_1+m_2y_2+m_3y_3}{m_1+m_2+m_3}$$

同理，分佈在一平面上的 n 個質點的質量中心應爲

$$x_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_ix_i/M \qquad y_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_iy_i/M$$

$M=\sum_{i=1}^{n}m_i$ 爲質點組的總質量。

如果 n 個質點分佈於空間而不在一平面上，我們仍可定義其質量中心（x_{CM}，y_{CM}，z_{CM}）爲

$$x_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_ix_i/M \qquad y_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_iy_i/M$$

$$z_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_iz_i/M \qquad (1)$$

因爲 m_i 質點的位置（x_i，y_i，z_i）可用位置向量 $\vec{r}_i$ 表示，即 $\vec{r}_i=x_i\vec{i}+y_i\vec{j}+z_i\vec{k}$，而質量中心的位置（$x_{CM}$，$y_{CM}$，$z_{CM}$）亦可用位置向量 $\vec{R}_{CM}$ 表示，即 $\vec{R}_{CM}=x_{CM}\vec{i}+y_{CM}\vec{j}+z_{CM}\vec{k}$，故（1）式的三個純量式可用下面之向量式表示

$$\vec{R}_{CM}=\sum_{i=1}^{n}m_i\vec{r}_i/M \qquad (2)$$

我們討論質點組的運動問題時，常使用原點固定在質點組的質量中心上的坐標系，我們稱這一坐標系爲質量中心坐標系（*center-of-mass coordinate system*）如圖 15－205 中的 X'，Y'，Z' 坐標。

若 m_i 質點對質量中心的位置向量爲 $\vec{r'}_i$，則由圖15－205可知，m_i 對原坐標系及質量中心坐標系的位置向量有如下的關係

$$\vec{r}_i = \vec{R}_{CM} + \vec{r}'_i$$

將這些關係代入（2）式，得

$$\vec{R}_{CM} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i$$

$$= \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{R}_{CM} + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}'_i$$

$$= \frac{\vec{R}_{CM}}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}'_i$$

$$= \vec{R}_{CM} + \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}'_i$$

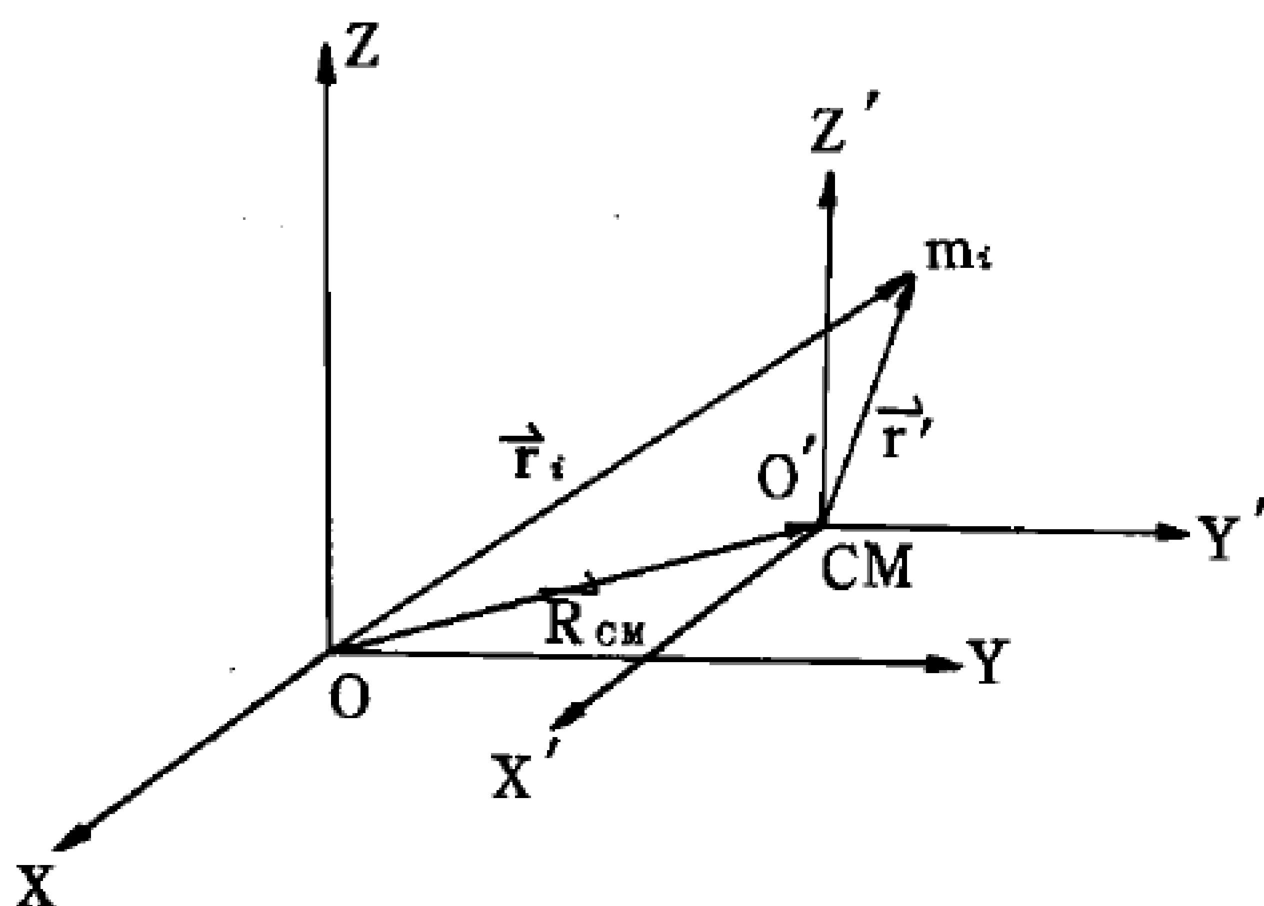


圖 15 — 205
質量中心坐標系

故對質量中心坐標系而言

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}'_i = 0$$

我們可用（2）式的定義求一群極密集的質點的質量中心。例如剛體（如米尺、磚等等）可視為由數目極大，而間隔極小的一些原子所組成的特殊物體。為方便起見，我們可將這些物體視為由質點“連續”分佈組成的。為求連續物體的質心表示式，我們可將物體分成 n 個質量為 Δm_i 的小塊，Δm_i 的大略位置為（x_i, y_i, z_i）。因此，質心的位置約為

$$\vec{R}_C \simeq \sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)\vec{r}_i \Big/ \sum_{i=1}^{n}\Delta m_i = \sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)\vec{r}_i \Big/ M$$

用 $\vec{R}_C$ 表示 $\vec{R}_{CM}$。物體被分割成愈多小塊時，$\vec{r}_i$ 將可更準確地決定 Δm_i 小塊的位置。因此，如果令分割的數目 n 趨近於無限大，且每一 Δm_i 都趨近於零，則上式所定出的 $\vec{R}_C$ 便為物體的質心的正確位置，即

$$\vec{R}_C = \lim_{\substack{\Delta m_i \to 0 \\ n \to \infty}} \frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)\vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n}\Delta m_i}$$

用積分符號表示即為

$$\vec{R}_C = \frac{\int_V \vec{r}\, dm}{\int_V dm} = \frac{1}{M}\int_V \vec{r}\, dm \qquad (3)$$

上式中dm所在之位置為$\vec{r}$，$\int_V$表示對整個含有這群質點的空間積分。這些密集質點的分佈情形，可用一密度函數$\rho(\vec{r})=\rho(x, y, z)$表示。我們定義在$\vec{r}$處物質的密度為在該點附近單位體積所含的質量，即

$$\rho(x, y, z) = \rho(\vec{r}) = \frac{dm}{dV}$$

dm為dV體積內所含的物質的質量。因此，（3）式亦可被寫成

$$\vec{R}_C = \frac{\int_V \vec{r}\rho\, dV}{\int_V \rho\, dV} = \frac{1}{M}\int_V \rho\vec{r}\, dV$$

【質量欠缺】（Mass defect）

原子核的原子質量與質量數之差。原子核本身的質量是要稍微小於核內各個粒子在結合前的質量和，其間的差異即為質量欠缺。

參閱“結合能（*Binding energy*）”條。

【質量不滅定律】（Law of conservation of mass）

任何物質系統之總質量，不受其個別部分間反應之影響，其總質量既不增加亦不減少。

【質量再歸一】（Renormalization of mass）

為一種將粒子的機械質量（*mechanical mass*，或裸質量 *bare mass*）加上粒子和它自己所產生的場交互作用，所產生的額外質量（稱為本身質量*self - mass*）的方法，並認為他們個別是無法量度的，可量度的質量乃是他們之和，稱為再歸一質量（*renormalized mass*）。這種方法在量子場論中特別有用，因為利用微擾法算出的自質量都是無限大。類似的方法應用到電荷上，稱為電荷再歸一（*renormalization of charge*）。粒子的裸電荷（*bare charge*）加上本身電荷（*self - charge*）是實驗所量到的再歸一電荷（*renormalized*

charge）。自質量乘光速平方就是本身能量（*self - energy*）。

【質量數】（Mass number）

質量數爲原子核中，質子數與中子數的總和，$A = Z + N$，亦即核內核子（*nucleon*）總數。它是極近於原子量之最大整數，質量數之範圍由氫之1至鍩（*nobelium*）之254。

【質量雙重線】（Mass doublets）

是質量數相同，但因質量稍有差異的二離子或原子，而在質譜儀中呈現相距甚近的兩條線。若就雙重線測得質量差，即可準確測定相鄰之線所表的質量。玆列示質量雙重線的例子如下：

質量數	原子（離子對）	質量差（u）
2	$H_2 - D$	1.547×10^{-3}
6	$D_3 - C^{++}$	42.32×10^{-3}
16	$CH_4 - O$	36.41×10^{-3}

【質點】（Mass point；Particle）

討論力學問題時，常假設物體中全部物質集中於一幾何點，此假設之無大小而僅具質量之點，稱爲質點。但任何物體均有大小，故質點乃一理想名詞。但若物體的大小與涉及之距離相較甚小而可以忽略時，則可將物體看成質點。例如，討論天體運行時，雖大如月球、地球，亦可視爲質點；而談到物質構造時，雖小如原子、分子，尚包含若干質點（粒子）。

【質點之能量守恆】（Energy conservation of particle）

當作用在質點上的力是守恆力時，我們可以將方程式$W = E_{p,A} - E_{p,B}$與方程式$W = E_{k,B} - E_{k,A}$結合而得

$$E_{k,B} - E_{k,A} = E_{p,A} - E_{p,B}$$

或 $$(E_k + E_p)_B = (E_k + E_p)_A \qquad (1)$$

$E_k + E_p$ 量叫做質點的總能，可以E代表之；即一個質點的總能等於此

質點之動能與位能之和，或

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m V^2 + E_p$$

（1）式乃指當作用於質點上之力爲守恆力時，此質點上之總能保持不變。

因用 A 與 B 指示的狀態是任意的。於是對質點在任何一個位置時，其狀態下之總能可寫之如下

$$E = E_k + E_p = 常數$$

換句話說，質點上的總能是守恆的。這就是我們爲什麼說當有位能存在時，其力即爲保守力的理由。例如在自由落體的場合 $E_p = mgy$，而能量守恆之式子爲

$$E = \frac{1}{2} mV^2 + mgy = 常數$$

若質點原先在 y_0 之高度而速度爲 0，則其總能量爲 mgy_0，而有

$$\frac{1}{2} m v^2 + mgy = mgy_0$$

或

$$v^2 = 2g(y_0 - y) = 2gh$$

【質點系統】（System of particles or system of mass-points）

以有限或無限個質點所構成的力學系統稱爲質點系統。剛體可視作各質點相對位置不變的質點系統的極限，一般的連續物體亦爲質點系統的極限，因此質點系的力學可成爲連續物體力學的基礎。

作用於構成質點系各質點的力可分爲(1)由系外作用的外力，和(2)在質點相互之間作用的內力。對內力，作用、反作用的定律成立。沒有外力作用時，各質點的動量和及角動量和（即系統的動量和角動量）保持一定。

【質點流密度】（Particle current density）

質點流密度為單位時間內，通過擴散方向上主單位垂直面積的淨質點數。質點流密度以$m^{-2}s^{-1}$單位表示。當物質為均勻者時，其質點流密度j為零，此乃通過一方向的質點數與通過反方向的質點數相等，無淨質量傳輸存在故之。倘若物質為非均勻者，密度則因位置而變，如是產生一淨質點流密度或質量傳輸。

【質譜法】(Mass spectroscopy)

以質譜儀（*mass spectrograph*）測定離子質量之方法稱為質譜法。

【質譜計】(Mass spectrometer)

測量正離子電量與質量比的儀器為質譜儀或質譜計。前者用照像軟片記錄正離子之位置及數量，後者以電子儀器測定之。

參閱“質譜儀（*Mass spectrograph*）”條。

【質譜儀】(Mass spectrograph)

是一種偵檢與分析同位素的儀器。當一群原子核通過其中的電場和磁場時，凡電荷與質量的比值不相等的，便被分開。

圖 15 — 206 為但普斯特（*Dempster*）質譜儀的簡圖。圖中I為離子源（如果離子為電子，則離子源為一燈絲），S_1及S_2為兩個狹縫，離子受到施於S_1及S_2間的電位差V的加速後成一平行離子束。因此，離子自S_2被射出時的速度為

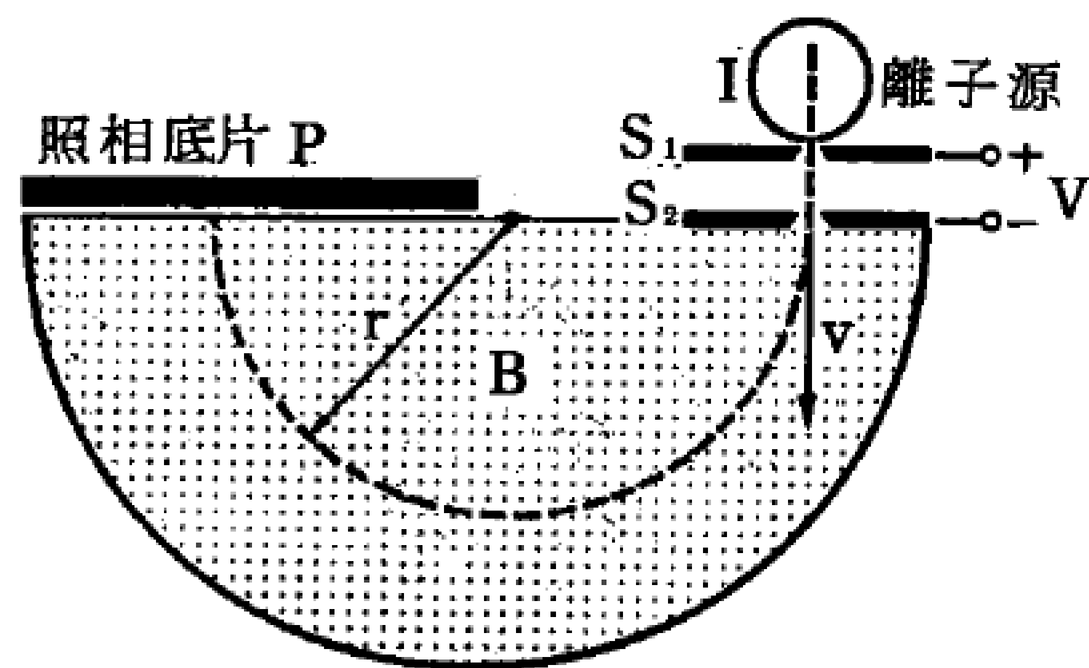


圖 15 — 206　但普斯特質譜儀

$$v^2 = 2\left(\frac{q}{m}\right)V \qquad (1)$$

在狹縫下方有一垂直指離紙面的均勻磁場。正離子在這一磁場內運動時其軌道為如圖中所示的圓形。當離子描繪一半圓而抵達照相底片P時會

在它上面留下痕跡。由軌道半徑 $r = mv / qB$ ，得

$$v = (\frac{q}{m}) Br \qquad (2)$$

合併（1）、（2）式，消去 v ，即得

$$\frac{q}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2}$$

因爲 V 、B 及 r 可被直接量得，所以如果我們能夠用其他方法決定離子所帶的電荷 q ，則由上式我們便可求得離子的質量。我們可以利用質譜儀將電荷相同而質量不同的離子分開。科學家應用這種儀在 1920 年左右發現了同種化學元素的原子其質量可以不相同；這些質量不同的同一種元素的原子被稱爲同位素（ *isotopes* ）。

湯木生（ *Thomson* ）首先利用電磁場測定電子的帶電量與質量的比例的原理，同樣的可運用到帶正電的離子，來測定帶正電的離子之帶電量與質量的比值，從這一個數值，很容易地就可計算出該離子的質量。正離子通常之帶電量等於一個電子，但有時亦帶有兩個甚至三個電子的電量。最早湯木生用來研究正離子 e / m 之值的儀器如圖 15－207 所示，置少量要測量的氣體於該裝置中，管中高速流動的電子撞擊到管內的氣體，氣體原子（或分子）受撞擊其所持之電子常被擊出，而使該氣體的原子（或分子）成爲帶正電的離子。這樣形成氣體正離子受電場的作用而向陰極加速移動，如圖上所示，一部分加速的正離子穿過陰極及柵屏而進入一組有彎曲性（ *deflecting* ）之電磁場中。利用電場與磁場之平衡作用，不同帶電量或不同質量的氣體原子（

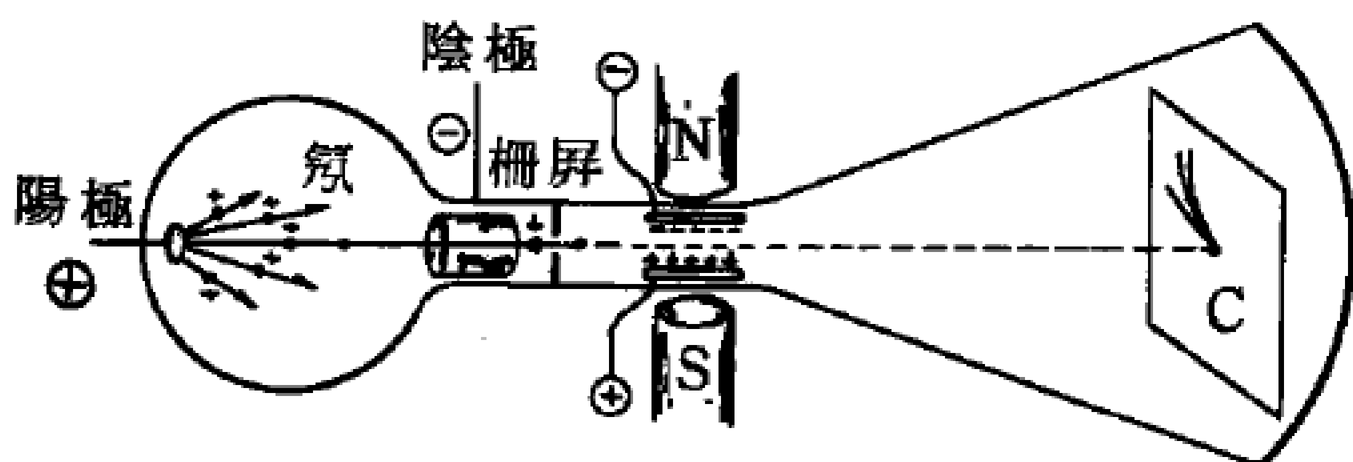


圖 15 — 207　最初的質譜儀

分子），在後面螢光屏上所投射的位置各異。湯木生利用一組平行的電

場及磁場，同一種類正離子（帶電量及質量均相等）經過此種安排後，在螢光屏上呈一拋物線。速度快的離子曲折較少，速度慢的離子曲折較多，故落在拋物線之外端。不同電量及質量比的離子落在不同的拋物線上。

第一個被測量的氣體是氖（Ne），當時自化學上求出的氖的原子量爲 20.183。湯木生利用上述的方法來再測定它。最初他測得的結果氖的原子量爲 20.0，這個數字與化學上所測得的 20.183 相差太大，遠超出實驗的不準確範圍。再經過更仔細的分析湯木生發現氖離子經電磁場的曲折後，並不是都落在一條拋物線上，而是分落在三條曲度不同的拋物線上，在這三條曲線中一條主要的有 90.5% 的氖離子落在其上，其質量爲 20.0。另一條佔 9.2%的，質量爲 22.0。還有一條非常微弱的曲線，僅有 0.3%之氖離子其質量爲 21.0。

氖氣有三種不同質量的原子，這些原子在化學上及光譜學上的性質均相同，僅在質量上略有不同，而每一種原子的質量數都是整數。通常我們遇到的氖氣乃是以上三種不同質量的氖原子的混合，所以在化學上測出來的原子量爲 20.183。這數值是三種不同質量氖原子的混合平均值。

這些不同質量的氖原子，我們統稱爲氖之同位素，同位素這名稱來自希臘文，原意爲在"同一位置"，其寓意是這些質量不同的原子在週期表上佔同一位置。在表示同位素時我們在元素符號的左上方加上該同位素之質量數，如氖同位素分別爲 ^{20}Ne，^{21}Ne，^{22}Ne（或氖 - 20，氖 - 21，氖 - 22）普通氖氣之化學符號爲Ne（氖）。

以後經科學家們繼續的研究，發現幾乎每一種元素都是由於數種該元素的同位素所混合而成，只有很少數幾種元素僅含單純的一種穩定同位素。僅含一種同位素之元素如金（^{197}Au）、碘（^{127}I）、錳（^{55}Mn）等。

現在應用的質譜儀或質譜計均是非常精確的儀器，它不但可以測量出每種同位素之準確質量，並可測定每種同位素在元素中所佔的百分比。如將這種儀器略加修改，亦可應用到同位素的分離。質譜儀的型式很多，但所應用的主要原理及結構卻大同小異。圖 15 — 208 所示是一架現代用質譜儀的主要裝置部分。這裝置是在眞空中，正離子流自它的發射源經過窄隙 S 進入一曲圓形之電場 C_1C_2 ，調節 C_1C_2 間之電壓，可選擇一定能量之正離子，這些正離子隨著電場之形狀彎曲 90° 而進入一個半圓型的均勻磁場中，磁場的方向與圖面垂直，進入磁場之正離子受磁力作用而循半圓形軌道進行。因正離子 e/m 之大小不同，軌道形成大小不等之半圓。分別落在照相軟片不同之位置上如圖 pp' 所示。

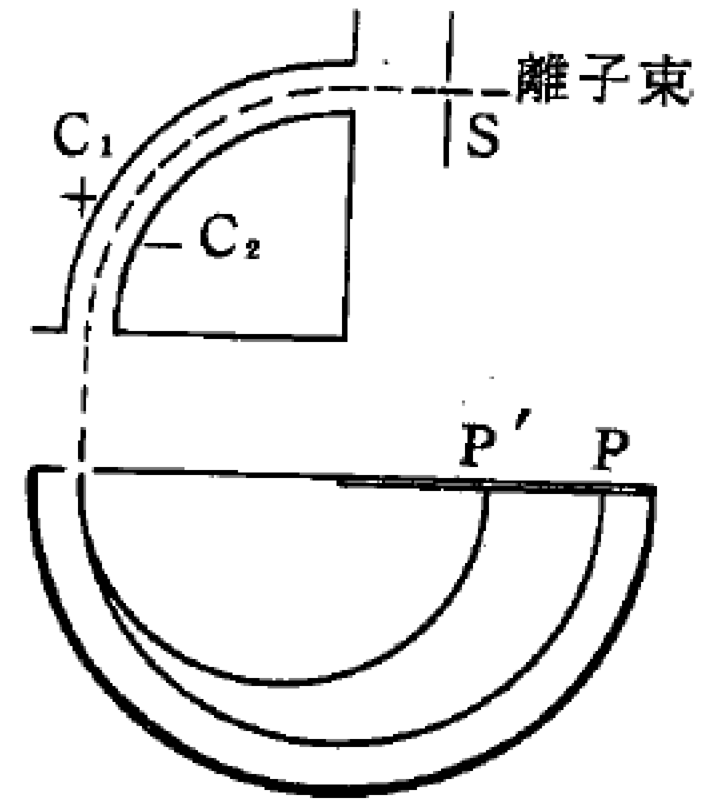


圖 15 — 208

現代用質譜儀之主要結構

【輪軸】(Wheel and axle)

由兩個半徑不同的滑輪，固定在同一轉軸上的構造。半徑較大之滑輪稱爲輪，較小者稱爲軸。如圖15 — 209，輪邊和軸各繫一繩，其繞轉方向相反。當輪軸的軸爲水平時，設軸的半徑爲 r，輪的半徑爲 R，繞在軸上的繩子吊掛重量爲 W 的物體，繞在輪上的繩子加 F 的力，使之平衡。這種情形如同軸的中心 O 爲支點，軸與輪的半徑 r 、R 爲相同的兩臂桿槓。因此

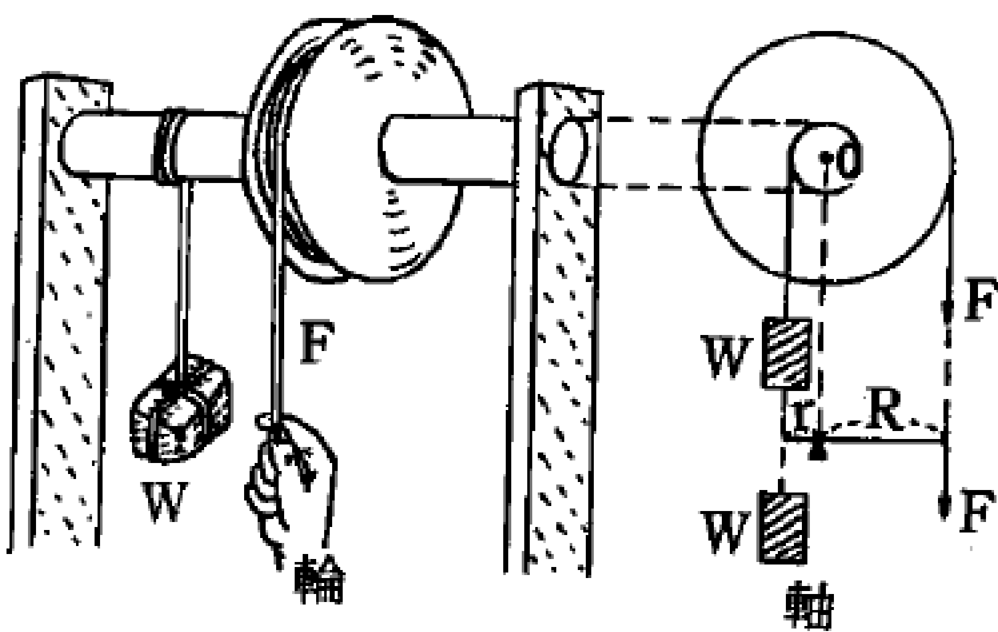


圖 15 — 209

$$W \times r = F \times R$$

$$機械利益 = \frac{W}{F} = \frac{R}{r}$$

故輪的半徑若比軸的半徑愈大，則愈省力。汽車的方向輪盤、螺釘起子

、收音機或電視機的旋扭，瓦斯或自來水的開關等都是在軸上裝個輪，使軸旋轉的力比輪旋轉的力爲大的裝置。此外，輪軸也有在軸上裝長臂以代替輪的，如扳手、腳踏車的把手及絞盤等。

【輝光放電】(Glow discharge)

是當二板極間的電位差大於充滿其間的氣體游離能時，所產生的放電現象，有輝光，但無火花。

【鄰近效應】(Proximity effect)

線圈中導線截面的電流分佈欠勻，其來源是鄰圈磁場所引起者。

【鄰道干擾】(Adjacent channel interference)

由於一發射機工作於鄰道所引起之干擾。

【鋅】(Zinc ; Zn)

在週期表中第二族的金屬元素，原子量65.37，原子序爲30，在電池中用鋅片作爲負電極。

【銳共振】(Sharp resonance)

配諧電路響應頻率範圍狹小，選擇度特別高。

【銳截止管】(Sharp cut-off tube)

小量偏壓即能將屏流截斷之電子管，該管柵圈的構造是密而均勻的。

【銳線系】(Sharp series)

參閱"鹼金屬原子光譜(*Atomic spectrum of alkaline metal*)"條。

【銲錫】(Solder)

低溶點的鉛錫合金。

【鋰】(Lithium; Li)

在週期表中第一族之鹼金屬元素，原子序爲3。是最輕的金屬，比重僅0.534。鋰色銀白、柔軟，在空氣中極易氧化，須貯存在煤油中，

與水、氧及氮在常溫均能化合。熔點爲 179°C，沸點 1,317°C 。

鋰最重要用途爲製造氫彈。其氫化物（鋰化氫，鋰鋁化氫 $LiAlH_4$）爲強還元劑及氫化劑。鋰亦爲特殊合金的成分金屬。火箭的固體燃料亦有用鋰及其化合物者。

【鋁膜鏡】（Aluminum-coated mirror）

在眞空室內使鋁蒸發並使之附著在鏡面上成鋁膜鏡，爲一種優良的反射鏡。膜之厚度約與長波之波長相等，其反射率在百分之八十至九十間，一般金屬鏡只具百分之六十之反射率。這種鏡如果保護得宜，耐久時間約爲數年。銀膜鏡則需六個月翻新一次，因銀極易氧化。

分光儀中反射之繞射光柵，亦習慣用鋁爲表面，其刻線則用較鋁軟之軟玻璃。

【鋯】（Zirconium ; Zr）

是第四族之金屬元素，原子序爲 40 ，水冷式核心反應器中最理想的原料。在原子潛艇的核心反應器製造中，和鈾同屬重要原料。鋯比鋼輕，防腐性強，熔解點高（3,452°F），堅固而易於加工。核心反應器中鈾原子分裂，使原子引擎不斷開動，完全依賴中子。核心反應器中採用鋯時，中子絕無被浪費之虞。有許多金屬吸收了中子，因而妨碍原子分裂；鋯並沒有這種缺點。鋯是一種賦性矛盾的金屬。處理得當，既堅強又不生銹；處理失當，它脆弱，無法操作，容易銹蝕，易於燃著火。鋯一旦燃燒起來，用水去撲滅時，它和水中的氧結合起來，燒得更加起勁，同時還放出氫來，往往會引起爆炸。但是，在核子反應中用鋯作原料的原因之一，卻是因爲它在高溫度時具有抗水的性能。鋯在自然界中的存量，遠超過鎳、銅、鉛、鋅等。但與許多雜質混在一起，很難提鍊。而鋯之所以能有防銹蝕和便於製作的性能，和它之能減少許多雜質有很重要的關係。

提鍊過程中，有許多巨型金屬蓋和活塞必須在高溫度中工作，同時必

須經常調換。這些金屬蓋和活塞必須能保持精確和密封不漏一絲空氣。提鍊過程中有幾個重要步驟要在巨大的金屬容器中進行，容器中所有的空氣及其它氣體必須完全清除。這些容器，就像是一人高的眞空管，上面用的蓋和活塞，不能用普通塡塞物予以密封。最後選定作塡塞物的原料是純金。經過多次試驗後，發現純金效果最好，金性軟，便於塡塞，又不怕高熱和腐蝕作用，且可以接二連三的加以利用。

製造鋯時，先採用一種"鋯海棉"，形狀就像焦煤。從含鋯沙提鍊成這種鋯海棉，共需經過六個步驟。鋯海棉雖然已經相當純，但其中還有若干雜質，必須清除後才能採用。

鋯海棉裝進了巨形容器之中，容器中還有一隻四碘化鋯的小桶。然後，把容器的蓋子蓋上，蓋上接連著像髮針似的鋯纖維。容器加熱，趕走空氣和雜樣氣體後，便藉鋯纖維通過電流，開始反應。

赤紅的四碘化鋯開始蒸發，純鋯從那裏流到燒熱的纖維線上，從四碘化鋯中發放出來的碘又回到剩餘的鋯海棉中去，又成四碘化鋯。這種過程再三重複之後，髮針似的纖維線網上結成相當厚的鋯。把纖維線移去之後，便可以獲得純鋯結晶條，像白銀似的閃閃發光，而形狀不規則的結晶體。

這種四呎長的結晶條被擊成小碎塊，溶化成鋯塊，以備加工製造。

【鋯燈】(Zirconium lamp)

爲點光源與紅外線光源，如圖 15 — 211 在管球內裝滿氬。陰極爲鉬或鎢，管內裝氧化鋯。陽極爲鉬或鎢。板中心有小孔。放電時由陰極所發生的光，經陽極板的小孔取出使用。

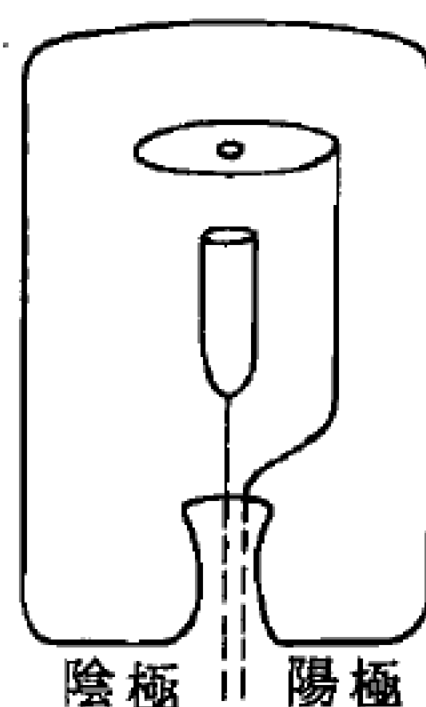


圖 15 — 210

因氬的放電，ZrO_2 將分解而成金屬狀的鋯將在陰極面上發光，此時光譜爲氧化鋯的連續光譜上呈現金屬鋯的線光譜。光源直徑很小，例如100W的燈，則約爲1.5mm，10W

則約爲0.4 mm 。

【鋒】(Front)

性質(特別是密度)不同的兩種氣團的分界面,叫做鋒面,鋒面和地表面的交線,叫做鋒(如圖15—211)。鋒的兩側,其氣溫、濕度、風、天氣等多數是很不相同的。

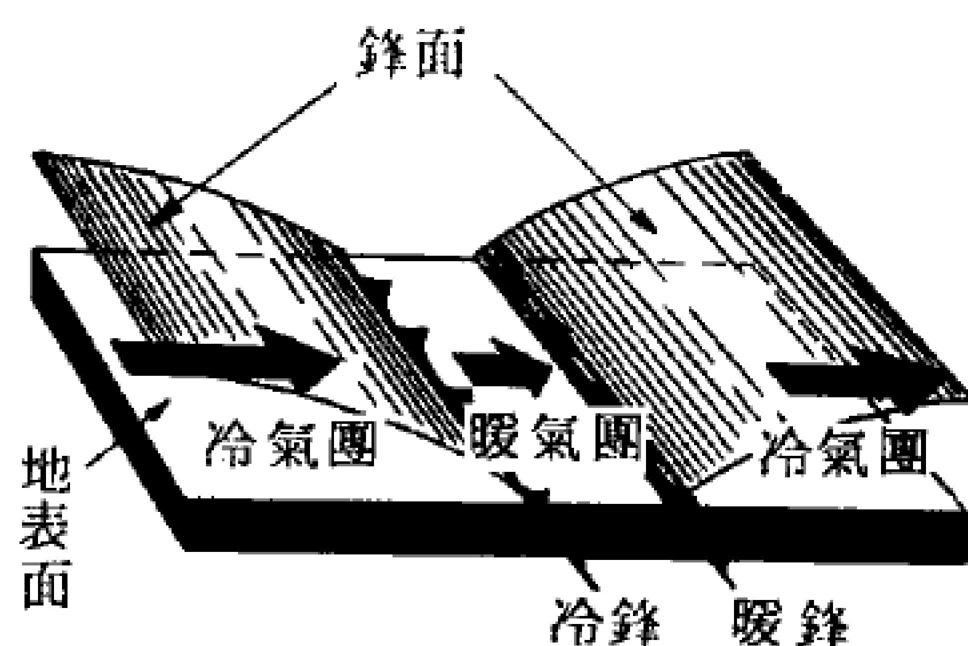


圖15—211　鋒與鋒面

【銼屑檢波器】(Coherer)

無線電發明初期使用的一種能單向傳導的粉末檢波器。

【震中】(Epicentre)

即震央。

參閱"震央(*Epicentre*)"條。

【震央】(Epicentre)

地震是由一有限地區以一定而可測的速度向周圍傳播。地震發生處叫做震源。在地震學上爲方便起見,都將震源看爲一點,能量由此點開始輻射。震源不在地表,也不在地下700 km 以下。震源深度小於70 km的爲淺層地震,在70～300 km 的爲中層地震,在300～700 km 的爲深層地震。淺層地震最多,約佔全地震的70%,但多爲小地震。深層地震之地表擾動小,不能用表面波來觀測。但地震受感地區廣泛,直接查看各地區災害情形,如屬相同則必爲深層地震。

垂直震源的地表,叫震央,震央受到垂直震動最厲害。遠離震央的地方,則受到水平震動。一般說來,與震源成四十五度角的地方,所受的震動最劇烈,因爲它受垂直水平雙重的震動。淺層地震之災害情形距震央愈遠災情驟減。地震發生地點通常用震央經緯度及震源深度表示之。

震源深度在深層地震比淺層地震容易求,但不能絕對準確。於圖15—212,如震源爲S,在S正反對方向之觀測站A收到P'與pP'波時

間差約為震波走經二倍震源深度之時間，如知震波依深度之速度，即可求得震源深度。在近距離之觀測站B亦可由P與pP之收到時間差求得之，但其精確度為±25 km，在傳波速度8.3 km/sec之地層中相當於3秒。

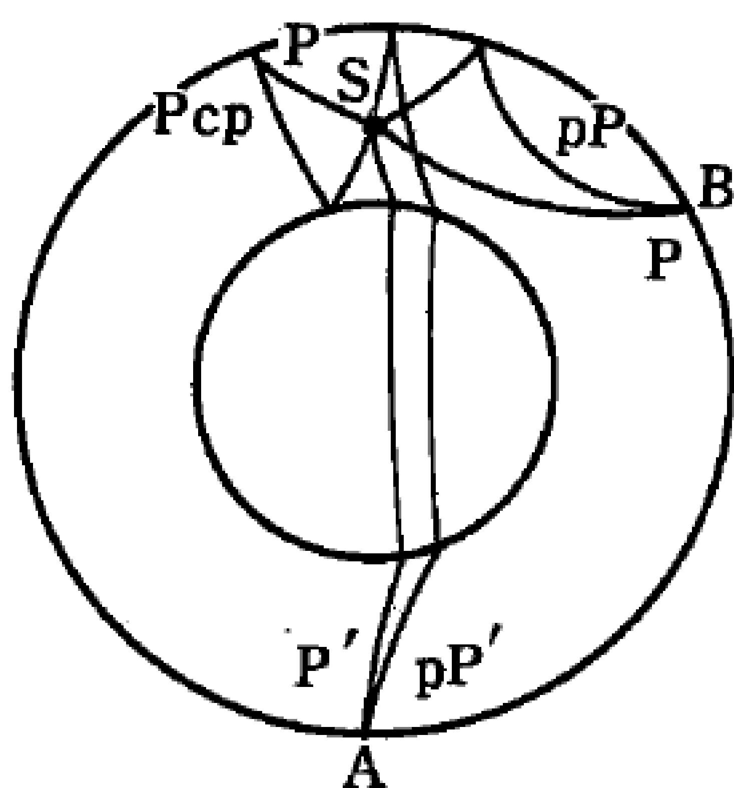


圖 15 — 212　震源深度

如地震發生在無人之地，其範圍，則可由其在地表之強度定之。如其處有觀測站，則可由不同種震波到達時間而計算。在平坦均質地層中，震波之傳導速度V_S、V_P應為常數。設T_0為地震發生時間，則P與S到達距離Δ之時間為：

$$T_P = T_0 - \frac{\Delta}{V_P}$$

$$T_S = T_0 - \frac{\Delta}{V_S}$$

$$T_S - T_P = \Delta\left(\frac{1}{V_S} - \frac{1}{V_P}\right)$$

或

$$\Delta = \frac{T_S - T_P}{1/V_S - 1/V_P}$$

以在任意三個以上觀測站之到達時間作為半徑，畫三個以上的圓必交於一點，此點即為震央。

由震波速度及其到達時間亦可計算地震發生時間，即

$$T_0 = \frac{T_P V_P - T_S V_S}{V_P - V_S}$$

【震波】（Shock wave）

當觀察者靜止不動而波源以大於v之速度運動時，在一定時間內，波源就在波之前面，例如在已知時間t之內波源從A點到達B點（圖

15－213），在A點發出之波僅從A點到達A'點，與相隣各波相切之面爲一圓錐，其軸爲波源運動所經之路線，其孔角α決定於

$$\sin \alpha = \frac{v}{v_s}$$

如此合成之波動爲一錐面波（*conical wave*），沿圖15－213中箭號所指之方向傳播，此種波有時稱爲馬赫波（*Mach wave*）或震波（*shock wave*），這是當超音速飛機從附近經過時所聽到的突然而強烈的聲音；此種波也可以在船之速度大於水面波之速度時由船跡中看到。

可壓縮性流體流動之際，正壓力的擾動傳播時會造成陡峭之波前，這種現象也稱爲震波。當流體爲完全導體時，諸如速度、壓力、密度、溫度和磁場等變數在震波之前處發生不連續性的改變，這種震波之前的速率或馬赫數與直接傳予介質的能量大小有關，在離子體中之震波有：

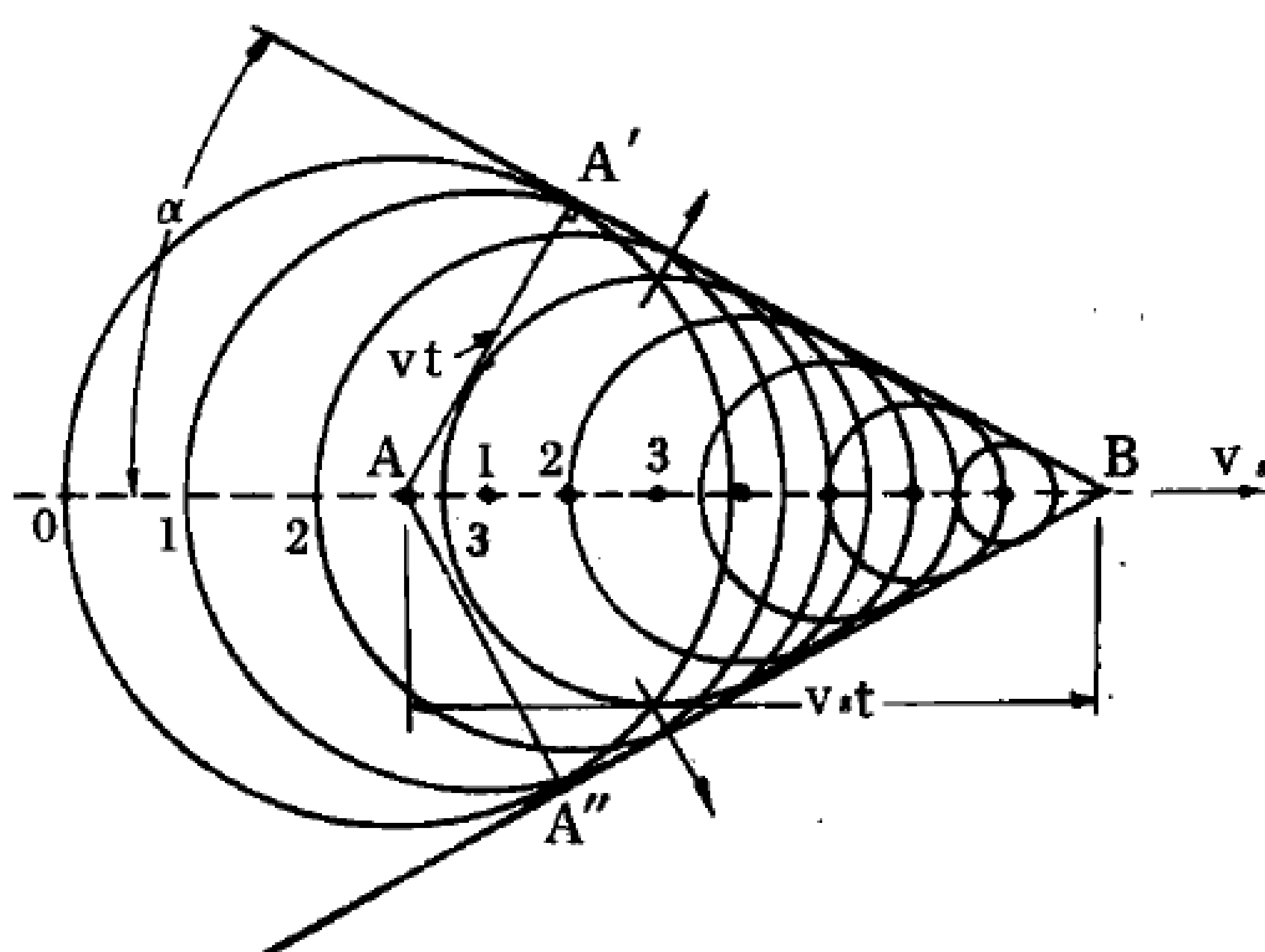


圖 15 — 213　馬赫波或震波

1. 電磁策動震波（*electromagnetic - driven shock wave*）——將強電流通過高度游離化的離子體中時可策動高度的震波。電流與磁場作用時對離子體產生大加速度的力，這種策動型式可產生馬赫數達數百的震波，而物理或化學方法策動的震波管能產生馬赫數達25 的震波。這些離子體策動震波的性質與通常的氣體動力震波非常相似。

2. 磁性水力震波（*magnetohydrodynamic shock waves*）——在磁場中傳播的高度離子化震波稱爲磁性水力震波，在震波之前的表面上可以產生極強的電流，此電流又在震波之前處使磁場產生突然

的改變，其它變數也突然改變，均稱之爲“磁性水力突變情況”。

【震動計】（Vibroscope）

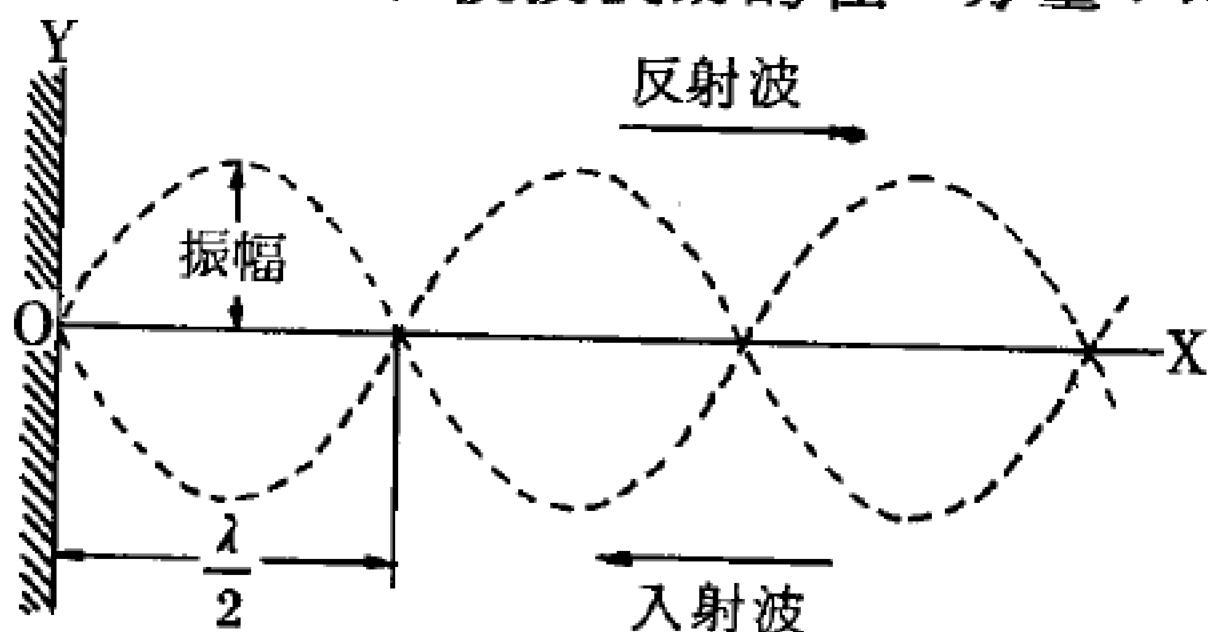
可以記錄或觀察震動的儀器。

【震源】（Earthquake focus；Epicentre）

詳閱“震央（*Epicentre*）”條。

【駐波】（Standing wave）

不向前傳播的波擾動，與傳播波不同。駐波波擾動的任一分量，均可寫成一位置函數乘以一時間的正弦函數。駐波是由兩個頻率、振幅均相同的波，反向進行時相重疊而成的。如圖 15—214所示，端點O係固定點，一向左端運動且具有方程式$\xi = A\sin(\omega t + kx)$之入射橫波於$O$點被反射後，產生一向右端傳播且具有方程式$\xi = A'\sin(\omega t - kx)$之新波。此後，紘上任一點之位移爲此二波干涉或重疊的結果，即是



$$\xi = A\sin(\omega t + kx) + A'\sin(\omega t - kx) \qquad (1)$$

於O點，則有$x = 0$，因此

$$\xi_{(x=0)} = (A + A')\sin\omega t$$

但O點係固定者，此意謂：無論在任何時刻恆有$\xi_{(x=0)} = 0$，亦即$A = -A'$。換言之，當波在一固定點反射時，它發生一相變更π，但振幅無變更；相之變更可從圖 15—214 之圖片系列中看出，此圖顯示一入射脈動與一反射脈

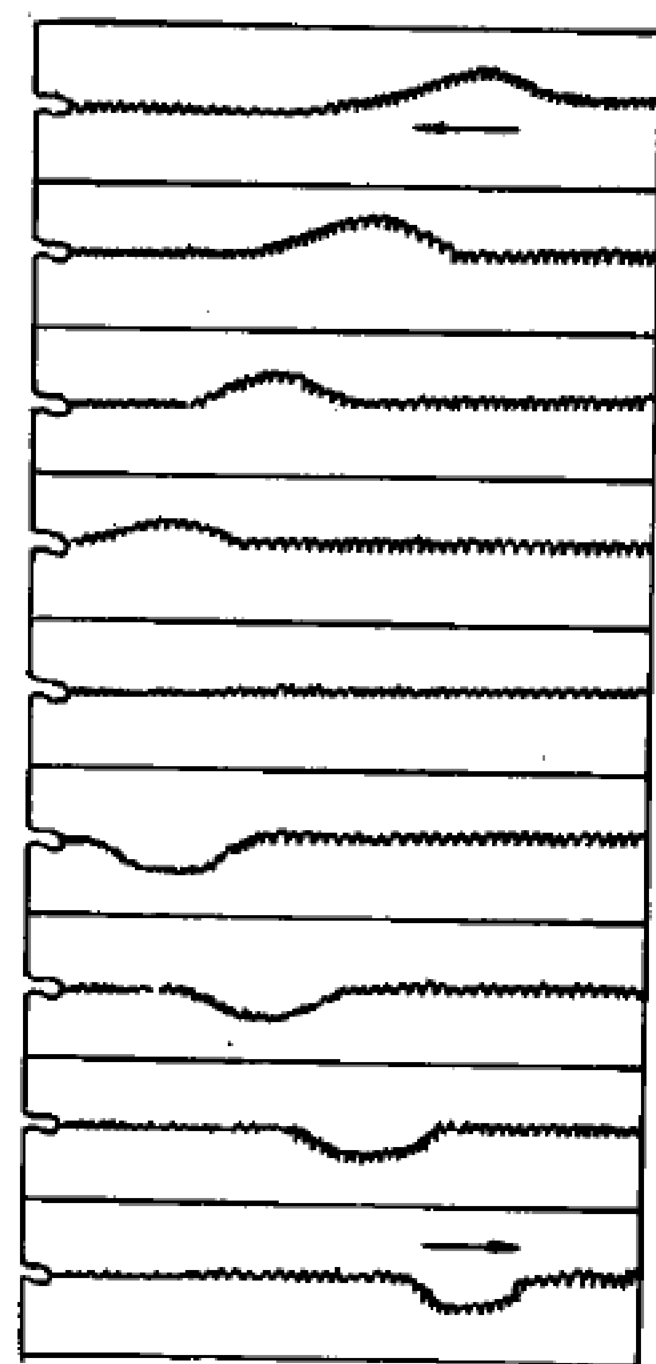


圖 15 — 214
一端固定之紘，紘上反射波之相的變更。

動。因此（1）式變為

$$\xi = A\,[\,\sin(\omega t + kx) - \sin(\omega t - kx)\,]$$

引用三角關係式

$$\sin\alpha - \sin\beta = 2\sin\frac{1}{2}(\alpha - \beta)\cos\frac{1}{2}(\alpha + \beta)$$

則得

$$\xi = 2A\sin kx\cos\omega t \qquad (2)$$

因表示式$\omega t \pm kx$不再出現，故（2）式不表示一行進波。它在效果上表示一振幅隨點而變的簡諧運動，其振幅之值為

$$\Psi = 2A\sin kx \quad \text{（駐波之振幅）}$$

此振幅已於圖15－214中以虛線指出。當

$$kx = n\pi$$

振幅為零，因$k = 2\pi/\lambda$，此結果亦可書為

$$x = \frac{1}{2}n\lambda \quad \text{（節點）} \qquad (3)$$

這些點稱為節點（*nodes*）。相鄰節點間之間隔為$\frac{1}{2}\lambda$，然而波長λ係任意者，由頻率與傳播之速度，依據$\lambda = v/\nu$一式而定。在波動進行中，節點永遠靜止不動，而這種波因為有不動的點，故其相速度為零，因此我們就稱之為駐波。

假定現在再加入第二條件：即絃之另一端$x = L$亦係固定，意謂$x = L$之點為一節點，且必須滿足條件

$$kL = n\pi$$

或者，引用（3）式，則

$$L = \frac{1}{2}n\lambda \qquad (4)$$

此式指出，絃之長度必須為$\frac{1}{2}\lambda$之整數倍，因此，第二條件自動地將能夠在絃上行進之波的波長，限制於（4）式所表之值內，即是

$$\lambda = \frac{2L}{n} = 2L,\ \frac{2L}{2},\ \frac{2L}{3},\ \cdots\cdots$$

因而，振動頻率亦限制於

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L}$$

值中。當我們憶及表波沿一受張力T且單位長之質量爲m之絃傳播之速度表示$v = \sqrt{T/m}$ 時，可能之頻率由

$$\nu_n = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{T}{m}} = \nu_1\ ,\ 2\nu_1\ ,\ 3\nu_1\ ,\cdots\cdots \qquad (5)$$

其中 $$\nu_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

被稱爲基頻（*fundamental frequeucy*），如是，可能的振盪頻率（稱爲諧頻）均爲基頻之倍數。吾人則謂頻率及波長被量子化，量子化仍是於絃之兩端點施以邊界條件之結果，此種情形出現在許多物理問題上。

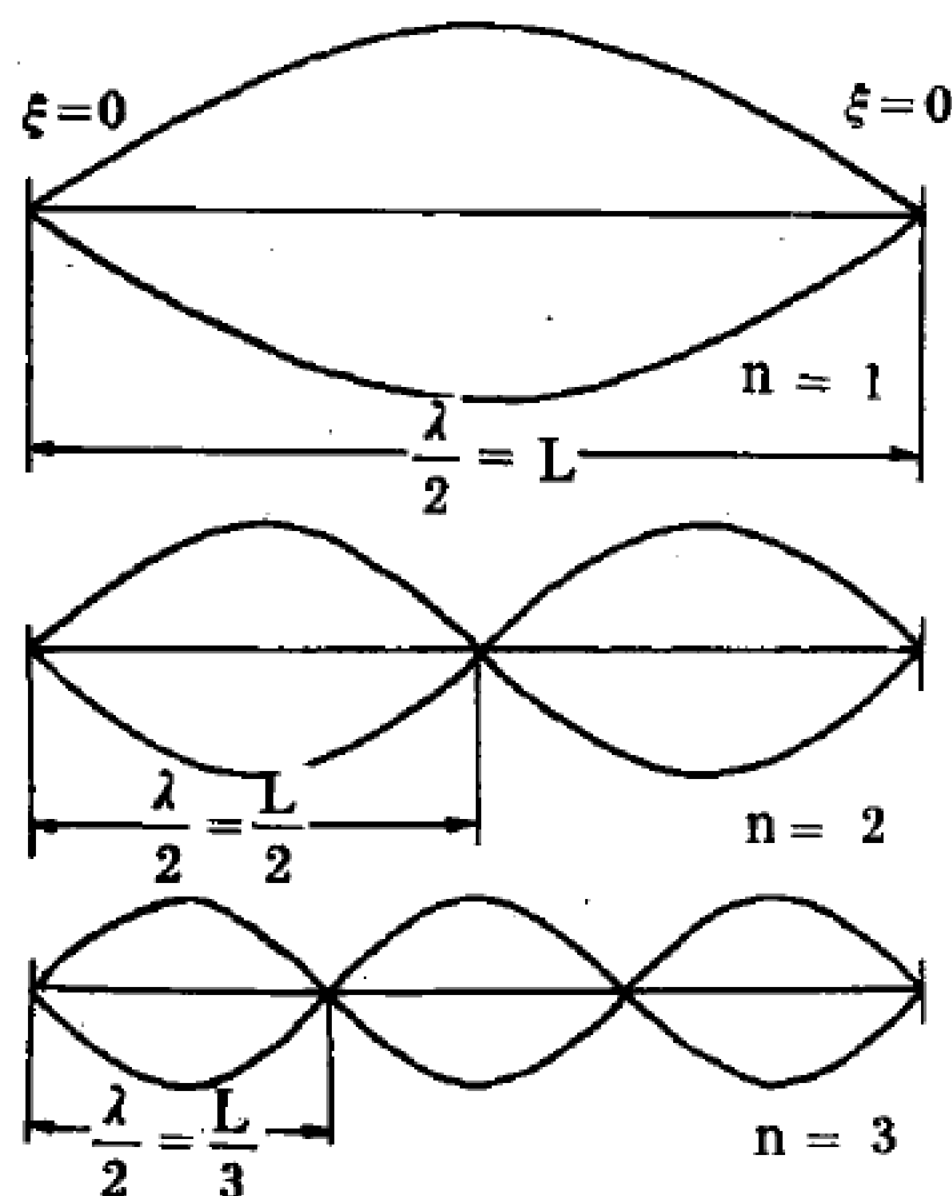


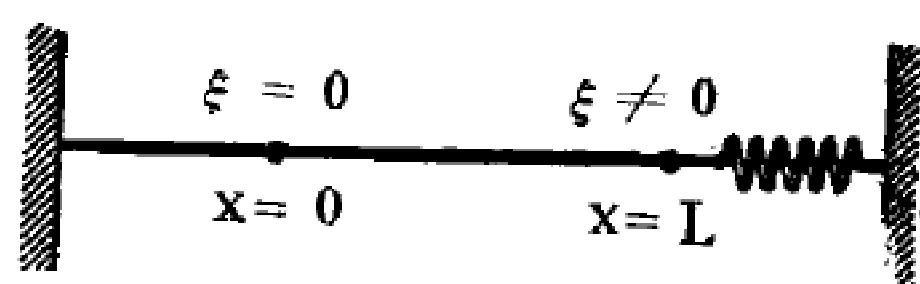
圖 15 — 215
兩端固定之絃上之駐橫波圖形

圖 15 — 215 示出最初三個振動方式（*mode*）（$n = 1, 2, 3$）之振幅分佈。節點或零值振幅由（3）式所決定，振幅最大之點爲反節點（*antinodes*）或波腹，相鄰反節點間之距離亦爲$\lambda/2$，當然一節點與反節點之間隔是$\lambda/4$，由圖可見，當在節點上時，$\xi = 0$，而在反節點上因振幅最大，則

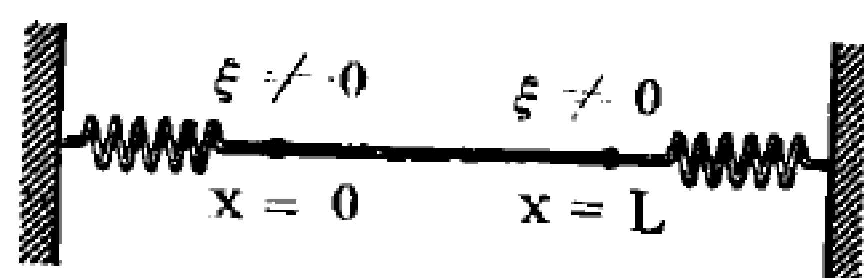
$$d\xi/dx = 0$$

然而吾人亦可加入其他條件，替代絃之兩端所加入$\xi = 0$之條件。如圖 15 — 216 所示之絃中，因端點的物理情形不同，我們應以一組不同於（4）式與（5）式所定的波長與頻率解決此問題。

考慮有關管內（如風琴管）空氣中駐波之另外兩簡例甚爲有益。先



(a)



(b)

圖 15 — 216

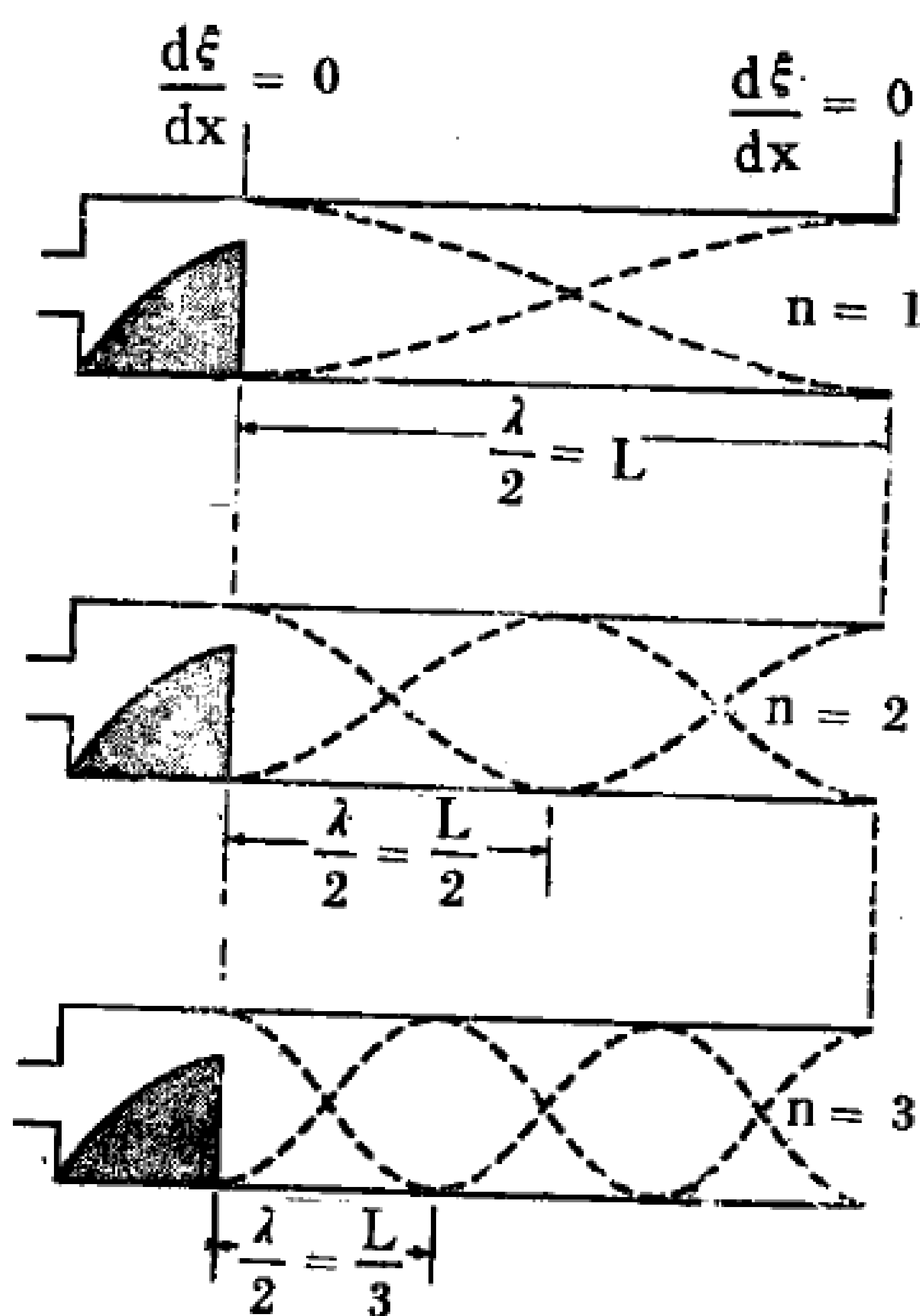


圖 15 — 217

兩端開口之空氣柱中的壓力駐波圖形

考慮的第一個簡例係兩端開口之管(圖 15－217),空氣經由吹口一端吹入,因在另一端發生反射,管中產生一駐波,這情況與前述的兩端固定之絃的情形,基本上之差別係在管之兩端爲自由者,因此在兩端上 ξ 具有一極大値,換言之,管之每端有一反節點。因此,在一開口管中,節點與反節點之位置恰與它們在絃之位置互換,這情形已在圖 15－217 上用虛線示出。因此,吾人可得一結論:如在兩端被固定一絃之情況,管之長度必須爲 $\frac{1}{2}\lambda$ 之整數倍;即是 $L=\frac{1}{2}n\lambda$ 或

$$\lambda=\frac{2L}{n}=2L\ ,\ \frac{2L}{2}\ ,\ \frac{2L}{3}\ ,\ \cdots\cdots$$

亦即,駐波之允許頻率爲

$$\nu_n=\frac{v}{\lambda}=n\left(\frac{v}{2L}\right)=\nu_1\ ,\ 2\nu_1\ ,\ 3\nu_1\ \cdots\cdots$$

式中 $n=1,2,3\cdots\cdots$,因此,允許頻率包括以 $v_1=v/2L$ 爲基音的一切倍音。

其次考慮一吹口之對端爲封閉的閉口管(圖 15－218),在閉口端的物理條件已經變更,而在吹口端物理條件一如前述情況一樣,因此

在吹口處，必須再度具有一反節點，但在閉口端（$x = L$）必須具有一節點；閉管中，節點與反節點之分佈，已由一虛線於圖 15－218 中示出，從圖中顯而易見，管之長度與波長之關係爲 $L = \frac{1}{2}n\lambda + \frac{1}{4}\lambda$，或者

$$\lambda = \frac{4L}{2n+1} = 4L, \frac{4L}{3}, \frac{4L}{5} \cdots$$

駐波之允許頻率爲

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = (2n+1)\frac{v}{4L}$$

$$= \nu_1, 3\nu_1, 5\nu_1 \cdots\cdots$$

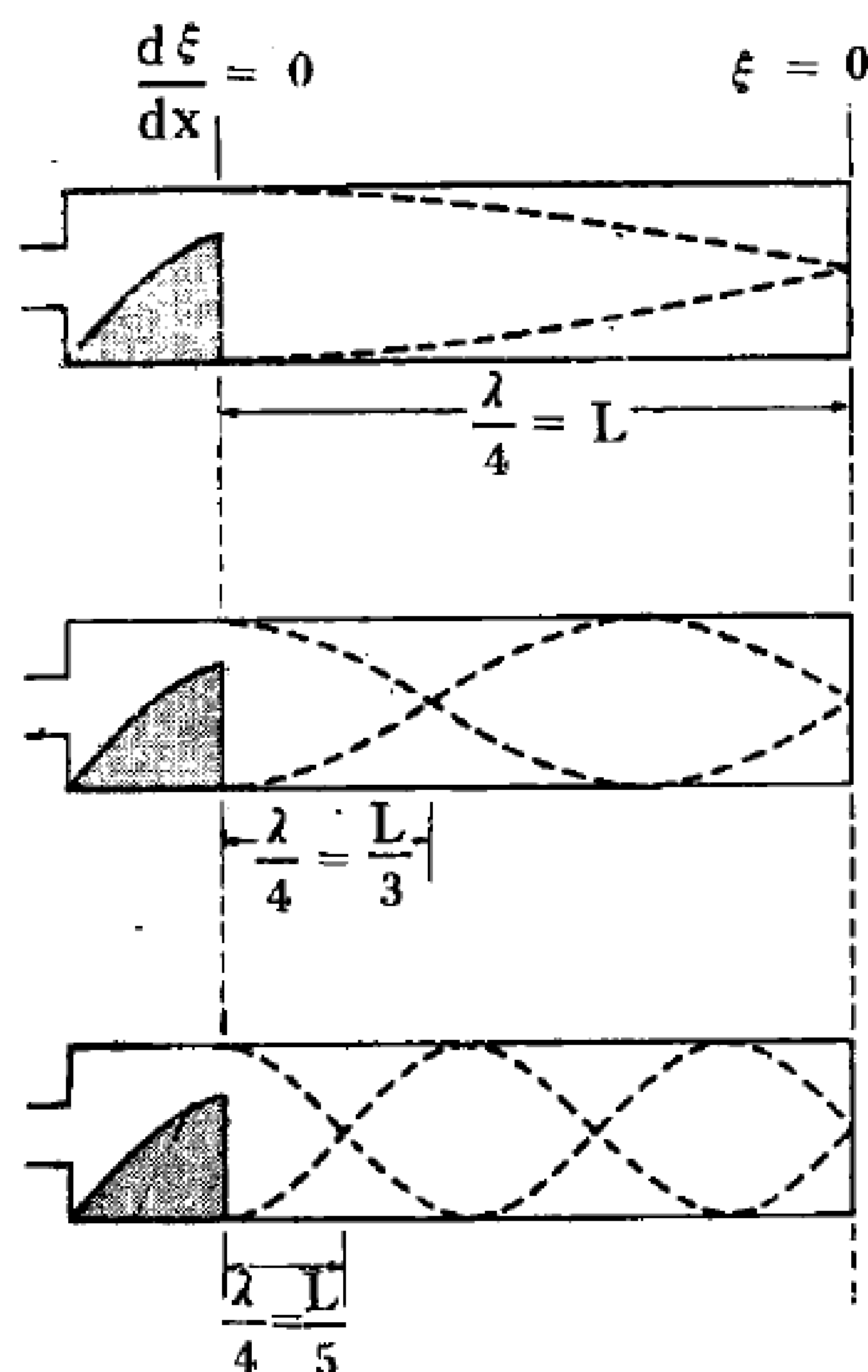


圖 15 — 218
一端開口而一端閉口之空氣柱中之壓力駐波圖

現在，振動方式不同於兩端開口之管者。一端封口之閉口管僅能以其基頻 $\nu_1 = v / 4L$ 之奇數倍諧頻振動，此爲閉口管之重要特徵。就等長之閉口管與開口管言，閉口管之基頻爲開口管基頻的一半。

【駐極體】（Electret）

是一種電介質，它能在外加電場消失後，仍然保持有電矩的現象。首先從卡瑙巴蠟及蠟和松香的混合物，製成駐極體的是江口（*Eguchi*）。他將這類物質加熱到熔點以上，然後在強電場（約每厘米一萬伏特）下，讓它凝固並冷卻到室溫，即成一駐極體。後來發現並不需要加熱至熔點以上，而且駐極效應也非常普遍，多種電介質都有此效應。由於蠟狀電介質表現強烈的電介質吸收，所以經常用作駐極體的材料。

電介質的吸收率和吸收的電量衰變率，隨溫度的下降而急降，所以只有在高溫時才能完全充電，如果這時加上電場，然後讓它冷卻，則吸

收的電量衰變就能減緩許多，而凍結了部分的極化，表現出駐極的效應。因此利用加熱加電場和冷卻的步驟，可以製成駐極體。

【黎希曼混合定則】(Richmann mixing rule)

倘若我們將二種不同溫度的物質，用接觸或是混合的方法使溫度均等，則下列的熱量平衡必可達成：由較熱物質所釋放出來的熱量，必等於由較冷物質所吸收之熱量，亦即較熱物質之熱量損失等於較冷物質之熱量獲得。

設有m_1仟克t_1°C的水和m_2仟克t_2°C的水混在一起，其中t_2℃爲較高之溫度，又設x爲混合物之溫度，則較冷之水所增高之溫度爲$(X-t_1)$°C，其所吸收之熱量爲$m_1\cdot(x-t_1)$卡。至於較熱之水所減低之溫度則爲(t_2-x)°C，其所釋放之熱量爲$m_2\cdot(t_2-x)$卡。由於熱量平衡，$m_1(x-t_1)=m_2(t_2-x)$，由此算出混合物之溫度爲

$$x=(m_1t_1+m_2t_2)/(m_1+m_2)\text{ 度}$$

此一公式即爲黎希曼混合定則，此定則必須含有下列的假設條件，那就是：其中所有的熱量，既不釋放至器壁，也不釋放至浸入於其中之溫度計及外界之空氣。倘若我們要得到十分準確的結果，以上的假設條件當然是不容許的。

【鬚絲晶體】(Whiskers)

鬚絲晶體是形狀如鬚絲般的晶體，這種晶體在高度超飽和狀態下產生時，只包含一個錯位，即單軸螺旋錯位。鬚絲晶體中的彈性數值，極接近理論推測的數值，故大塊晶體物質的理想彈性，常可用其鬚絲狀晶體中觀測得知。

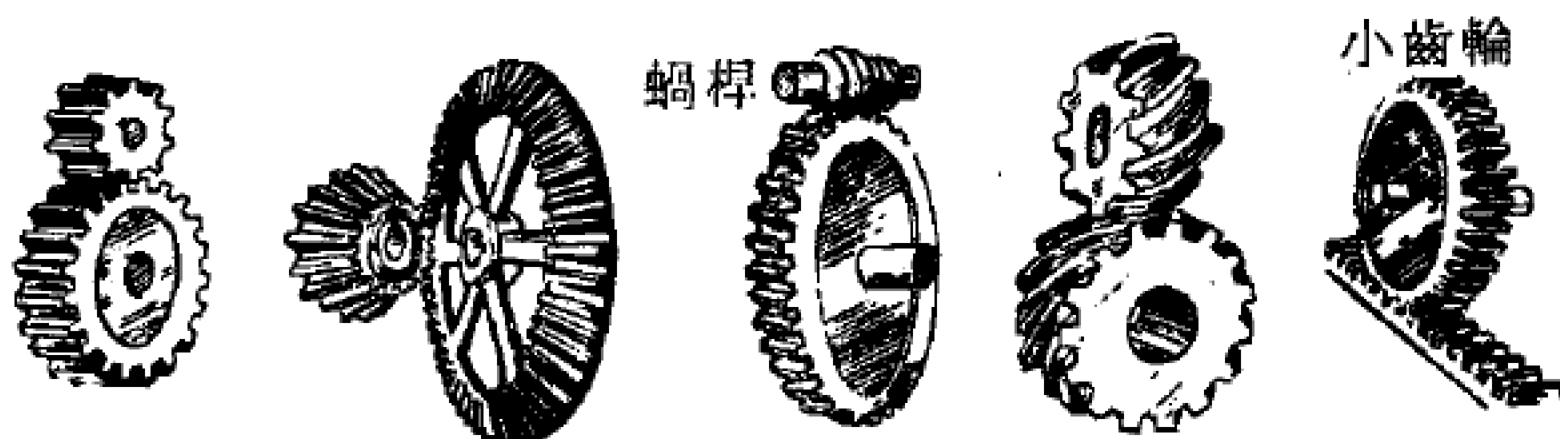
【齒輪】(Gear wheel)

齒輪是輪軸的一種變形裝置。在輪的周圍刻有高低的輪齒，使兩輪的齒與齒能互相囓合不致滑動藉以傳送動力。由於齒輪不會有空輪，常

在需要把旋轉的速度正確傳達，或傳達大的動力時採用。

齒輪有種種形狀，或可使旋轉緩慢，或可在斜軸之間傳動等。說明如下：

1. 平角齒輪——是最常見的齒輪，也叫正齒輪，用於兩靠近的平行軸之間，使旋轉速度、旋轉方向或旋轉力等改變時採用。如圖 15 — 219(*a*)。



(a)正齒輪　(b)盆齒輪　(c)蝸形齒輪　(d)螺旋齒輪　(e)齒桿

圖15 — 219　各種齒輪

2. 盆形齒輪——也叫傘形或斜出輪。二旋轉軸直角交叉時採用的齒輪。如改變齒的角度，也可用於非直角相交，使旋轉方向作種種的改變。如圖15 — 219(*b*)。

3. 蝸形齒輪軸與蝸形齒輪——在旋轉軸上裝陽螺絲，使與平角齒輪嚙合者。動力只能由蝸形齒輪軸向蝸形齒輪傳達，不能反方向傳送。蝸形齒輪軸旋轉一週，蝸形齒輪只旋轉一個齒，可以使旋轉速變爲非常慢。常用在張網球或排球網等處。如圖 15 — 219(*c*), (*d*)。

4. 小齒輪與齒桿——是一種要把旋轉運動改爲直線運動的裝置。當小齒輪向左右旋轉時，相應齒桿即作左右的直線運動。如圖 15 — 219(*e*)。

設互相嚙合的兩個齒輪 A、B 的齒數各爲 T_1、T_2，旋轉數各爲 N_1 次／秒、N_2 次／秒。由於每一秒鐘內 A 與 B 嚙合的齒數相等，則

$$T_1 N_1 = T_2 N_2$$

因此，齒數與旋轉數成反比（圖 15 — 220）。

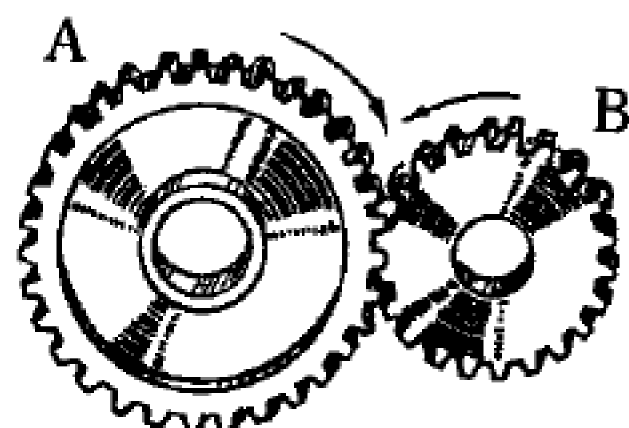


圖15 — 220　齒輪與旋轉數

平角齒輪因直徑愈大齒數愈多，齒數可認爲與直徑成比例。如圖15 — 221，設半徑爲 a、b 的二齒輪 A、B 互相嚙合，其軸的半徑皆爲 r。

P 的力作用於 A 齒輪的軸時，發生在 A 齒輪的力 F，由槓桿的原理得

$$F = P \times \frac{r}{a}$$

這個力原原本本被傳至 B 齒輪，在 B 的軸上發生力。

設發生在 B 軸的力爲 Q，則得

$$Q = F \times \frac{b}{r}$$

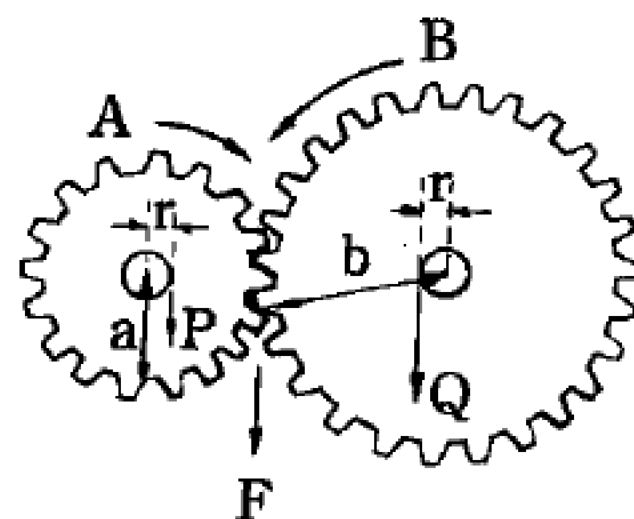


圖 15 — 221

旋轉數與旋轉力

將 $F = P \times \frac{r}{a}$ 代進去時

$$Q = F \times \frac{b}{r} = \left(P \times \frac{r}{a} \right) \times \frac{b}{r} = P \times \frac{b}{a}$$

可得 $$\frac{Q}{P} = \frac{b}{a}$$

由此可知，使軸旋轉的力，與齒輪的直徑，即齒數成比例。因齒數與旋轉數成反比，故使其旋轉的力與旋轉數成反比。

因此，減小齒輪的旋轉數，可增大使其旋轉的力。

十　六　畫

【冪次滑輪組】(Power sliding wheel)

冪次滑輪組是由若干動滑輪和一個定滑輪所組成 (圖 16－1)。動滑輪一個接一個地聯結在一起，把繩索的自由端接在毗鄰滑輪的軸轅上，而最上面一個動滑輪的繩索自由端則從一個定滑輪上面繞過。至於所有動滑輪的左端則都是各自固定在橫樑上。每用一個動滑輪時，恆能將作用力減爲作用在該動滑輪上的負荷之一半，但是在最後一個定滑輪上卻無省力可言。倘若共有三個動滑輪時，它們所承受之負荷則自左起依次各爲 Q、$Q/2$、$Q/4$；而最後一個負荷因爲是分佈在繩索之兩端的，故 $P=Q/8=Q/2^3$。

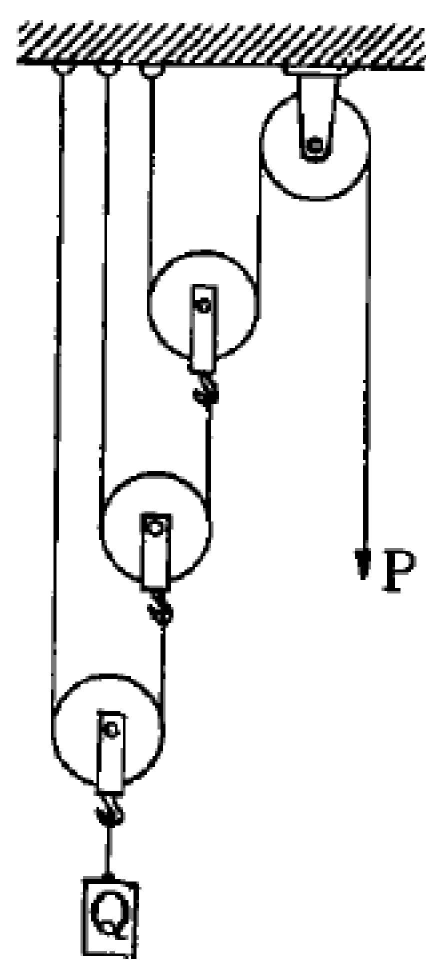


圖 16－1

倘欲將最下面那個動滑輪上的負荷 Q 舉高一段 s 時，需將中間一個動滑輪舉高 $2s$，上面一個動滑輪舉高 $2\times 2s=4s$，結果，繩索之一端遂勢非從定滑輪上拉過 $2\times 4s=8s$ 不可。因此，作用力之行程乃等於負荷行程之 $8=2^3$ 倍。(但在此情況下，作用力之功仍然是等於負荷之功。) 就 n 個動滑輪而言，遂爲

$$P=\frac{Q}{2^n}$$

力之行程則爲負荷行程之 2^n 倍；而傳動比則爲 $P:Q=1:2^n$，所以要比普通滑輪組之具有同一數目 n 個動滑輪者 ($1:2n$) 更爲有利。

【冪零】(Nilpotent)

運算子 A 有 $A^n=0$ 的特性。

【凝固】(Solidification ; Freezing)

凡液體物質，冷卻至相當的溫度，而凝成固體的現象，叫做凝固。液

體開始凝固時的溫度，叫做該物質的凝固點。同一物質的凝固點，等於其熔點。例如把水降低溫度，到 0 °C 時凝固而成爲冰。

氣體可直接變成固體，這種現象，亦叫做凝固。但爲著和由液體變成固體的凝固區別起見，有時乃叫做昇華。在凝固時，物體的性質往往遭受劇變，最明顯的莫過於流動性之消失和熱力性質的變化。通常物質在凝固時的密度增加；最常見的水卻屬例外，因此冰會浮在水面上。

【凝固之阻滯】(Damping of solidification)

液體如在空氣隔絕與不受任何振動之情形下慢慢地被抽除熱量時，能冷卻到遠低於其凝固點溫度以下而不凝固，此一現象稱爲凝固之阻滯或過度冷卻。例如純淨的水即可冷卻到 −15 °C 而不結冰。但此種過度冷卻之水如一旦略加搖動，或一旦用一小粒冰之晶體投入其中時，則一部分的水便會立即凍結；同時溫度計也升至 0 °C ，並保持在此一溫度而不變。此即因過度冷卻之水凝固時，所釋放的潛在熔解熱將冰和水之全部質量加熱至 0° C 。



圖 16— 2　水鎚

細雨落在極冷的凍結地面上時，就會結成光滑冰面。其所以會形成的原因，亦可從水之過度冷卻現象中得到解釋。但雨水如已爲過度冷卻時，則雖在 0 °C 以上而尚未凍結的地面上，也會形成光滑冰面。這是因爲過度冷卻之水滴一旦碰到阻礙物時，就會立刻凍結，並以一種光滑的冰之表層舖蓋在此阻礙物上所致。

相片定影劑硫代硫酸鈉 ($Na_2S_2O_3$) 加熱至 48 °C 時即變爲液體狀態，然後可使其過度冷卻到室內溫度。當其凝固時，它便很明顯地重新放出其原先在液化時所吸取之熱。每一新結成之晶體均會有熱量放出。因此，溫度遂升高到硫代硫酸鈉之凝固點 (48 °C) 。保熱器即爲一種實際利用潛熱蘊藏之設備。此項設備爲一具有夾層之容器，夾層之

間存有硫代硫酸鈉。後者熔解時會吸收熱量，凝固時又會逐漸放出熱量，所以能在較長的一段時間中保持升高之溫度，使容器中的液體不致冷卻。

【凝固線】(Freezing curve)

物質由液態冷凝爲固態，其溫度與時間的關係曲線。不同的物質其凝固曲線不同，由凝固曲線可決定物質的凝固點。如圖 16－3 爲液態萘的凝固曲線，其凝固點爲 80.1 °C。

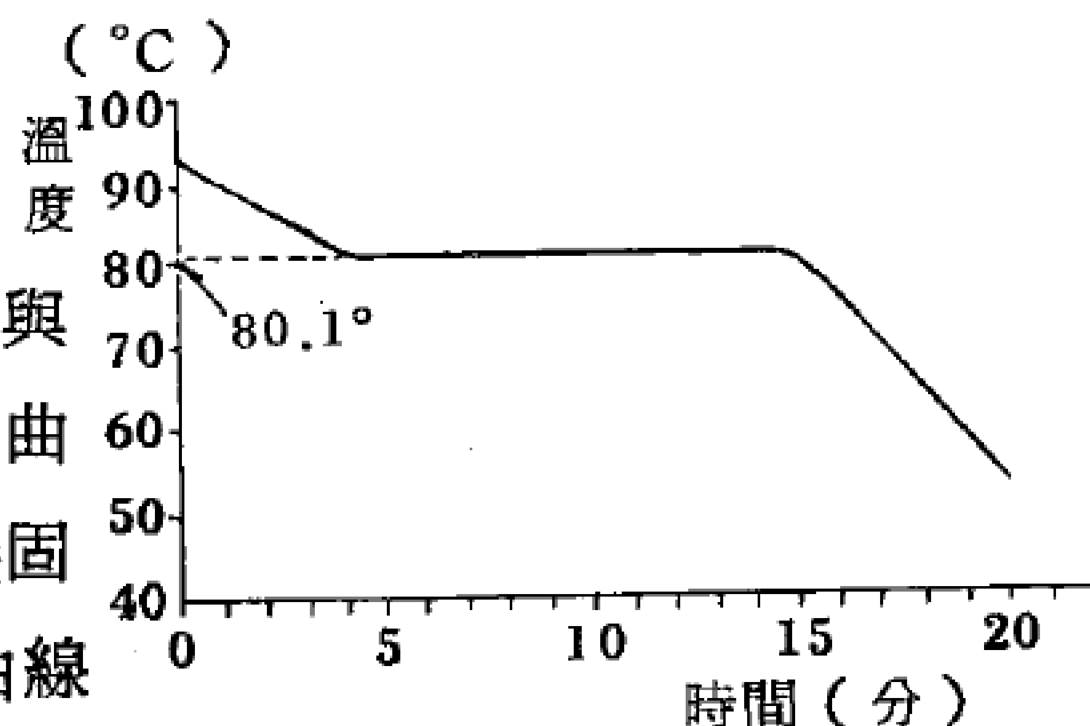


圖 16 — 3

【凝固熱】(Heat of solidification)

凡一克液體物質，凝固成同溫度的固體時所放出的熱量，叫做凝固熱。同一物質的凝固熱，等於其熔解熱。

【凝固點】(Freezing point)

將液體冷卻時，自物體開始凝固至完全凝固，在此期間溫度皆保持一定值，此溫度稱爲凝固點。

把水放在試管中，由四周靜靜地冷卻，使溫度降低，到 0 °C 時開始凝結，到全部凝結成冰，這段時間的水或冰的溫度是一定的，如圖 16 — 4 。

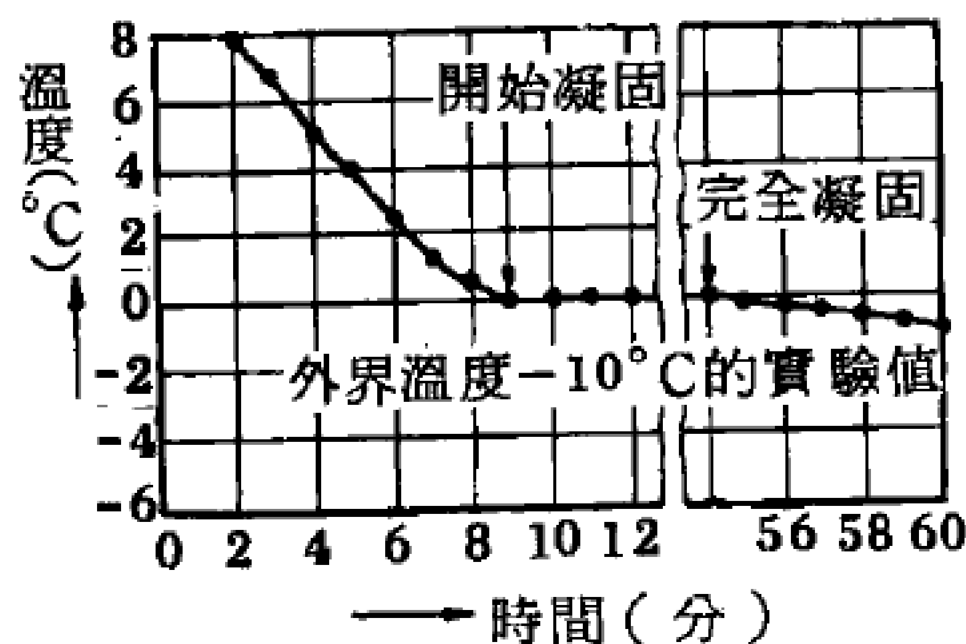


圖 16 — 4 水的凝固

在不同的氣壓下，同一物質的凝固點不同，例如在一大氣壓下，水的凝固點(0 °C) 稱爲冰點。一大氣壓以上時，冰點會比 0 °C 更低些。

一物質的凝固點與熔點，在相等的壓力下，爲同一溫度。溶液之凝固點，比純粹的溶劑爲低(不易凝)。例如海水的凝固點約爲－2.5 °C。或水與 23.3% 食鹽所成的水液，其凝固點更低，其爲－21.13 °C。由兩種或更多物質相混，以得低溫度之混合物稱爲冷凝劑(*freezing*

mixture)。

【凝結】(Condensation)

在溫度降低或壓力增加時，物質由氣態變爲液態，再由液態轉入固態，前者稱爲凝結或液化。在凝結時，物體的性質往往遭受劇變，最明顯的莫過於流動性之消失；可以在實驗室中精確測定的包括密度、比熱、聲速等所謂熱力性質的變化。通常物質在凝結時密度增加。使氣體液化的最高溫度稱爲臨界溫度，與此點相應的壓力稱爲臨界壓力，在臨界溫度和壓力之下，每單位質量的氣體所有之容積，稱爲臨界體積。

【凝結之阻滯】(Damping of condensation)

凝結時會發生一種阻滯作用，此即所謂凝結之阻滯。水汽在空氣中開始凝結時，必須有一種所謂凝結核 (*nuclei of condensation*)；此即塵粒或附有電荷的空氣分子，亦即所謂離子等。任何空間缺少此種凝結核時汽體之凝結會遲滯，便可容納較多的蒸汽，而其所顯示之蒸汽壓力亦必大於其與飽和溫度相當的壓力。而此項過剩蒸汽並不凝結，於是，此一空間乃被蒸汽過度飽和。假如我們將一種不含凝結核的飽和蒸汽稍予冷卻時，即能獲得此種過飽蒸汽。但一旦吹入微細塵粒，或是在過飽蒸汽中製造離子時，則過飽蒸汽便會突然凝結。凝結核對於雲層之形成，關係至巨。

【凝結係數】(Coefficient of condensation)

方程式 $$\mu = \alpha P\sqrt{\frac{M}{2\pi RT}}$$

其中 α 是凝結係數，μ 代表在單位時間內單位面積離開液面的蒸氣分子質量，M 是蒸氣分子的分子量，R 是氣體常數，T 是溫度。

【凝結熱】(Heat of condensation)

液化 1 克氣體爲同溫度的液體時，所放出的熱量稱爲凝結熱。任一氣體的凝結熱等於汽化熱。如 1 公克水蒸氣液化成水時，放出 539 卡的

熱量，則其凝結熱和汽化熱皆爲 539 卡。

【凝結點】(Condensation point)

氣體開始發生液化作用時的溫度稱爲凝結點。蒸汽的凝結點如同沸點一般，可以位於各種不同溫度。倘爲飽和蒸汽，則每當其體積壓縮或溫度降低時，蒸汽立刻開始液化；未飽蒸汽不能直接液化，倘欲液化，則須先應用冷卻或壓縮的方法將其轉變成飽和蒸汽。

倘將沸騰水中所上升之 100°C 之飽和蒸汽導入冷水之中時，則蒸汽先行全部凝結爲 100°C 的水，然後再繼續冷卻下去。飽和酒精蒸汽在 20°C時具有 44.1 毫米壓力，倘用持久壓縮的方法，也就是利用一種大於 44.1 毫米的壓力時，則終於能將該蒸汽完全轉變爲 20°C 的液態酒精。在各種情形下，飽和蒸汽恆於飽和溫度時開始凝結。另一方面，我們又知道，當液體處於一個等於它飽和壓力的外界壓力下時，則此項飽和溫度也就是它的沸騰溫度。所以就此種意義而言，我們可以認爲沸騰溫度等於凝結溫度。

【劑量】(Dose ; Dosage)

放射物理學（*radiation physics*）名詞，即單位體積或一器官、機件個體所吸收之能量稱爲劑量。

【劑量計】(Dose meter ; Dosimeter)

測量輻射劑量的裝置，譬如膠片胸章或游離腔。

【劑量率】(Dose rate)

輻射體每單位時間所放出的輻射劑量。可以用每小時侖目爲單位。

【劑量測定術】(Dosimetry)

即輻射劑量測定術（*radiation dosimetry*）。

【劑量等值】(Dose equivalent)

劑量等值用來表示有效輻射量，等於吸收劑量乘性質因數之積。它在數值運算上以侖目爲單位。

【噴水滅火器】(Jet water extinguisher)

如圖 16－5 所示之唧筒卽爲噴水滅火器，係唧筒附裝氣室產生連續的水流。由兩個壓水唧筒A及B連裝在一起而構成。兩者活塞桿的運動經常相反，所以兩個唧筒能夠輪替地將水壓高。水被壓入W氣室，室中另升出一根壓力管R，可以用管塞將R管關閉。W內水面被提升得愈高時，W內的空氣就被壓縮得愈多。如被壓爲 4 大氣壓時，開啓管塞，水就在外界的正常氣壓之下以 4 － 1 ＝ 3 大氣壓的超壓從管子裏壓射出來。在理論上，每一大氣壓相當於 10 米左右噴射的高度。W內的水平面如果下降，空氣的張力便行鬆弛，因此噴射出來之水柱其壓力高度也就慢慢減低爲零。但如不停的操作唧筒，就一直能夠將新的水驅進氣室，使得室內經常保存著壓縮空氣。所以用這種方式，就能達到連續不斷的噴射。沒有氣室時，水柱就會在每一次槓桿換向的一瞬間，失去噴射的高度。除此以外，氣室裏的壓縮空氣還能夠像彈簧一樣，緩衝流動時所發生的水之沖擊力。

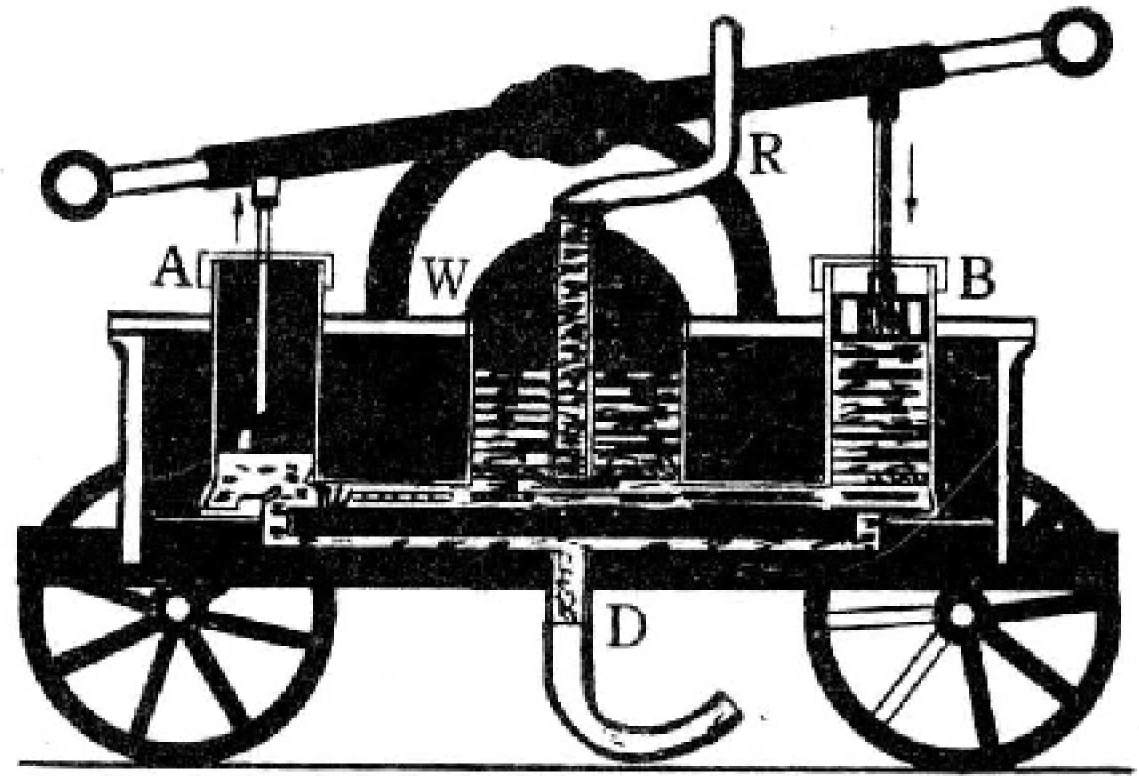


圖 16 — 5　噴水滅火器

小一點的噴水滅火器，都是用手來推動，由附近的水井或池塘裏吸水。在有自來水的城市裏，則將唧筒的D處，直接接在消火栓上。氣室裏的空氣壓縮得愈強時，噴出的水柱便愈高，而將活塞壓下時所需要的力量也愈大。在用蒸汽推動的噴水器中，這分工作都是由蒸汽來擔任的。

【噴泉】(Fountain)

地底在某些地方，熱水的流動，受到岩石的阻礙，蒸氣的壓力越來越大；高壓的蒸氣突然逸出，使大量的熱水噴到很高的地方，這種現象

稱為噴泉。噴泉只發生在附近有火山活動的地方。

【噴泉效應】(Fountain effect)

液態氦Ⅱ最特異的現象之一是噴泉效應。如果接一個管子到一個液態氦Ⅱ的槽裏面，當對管子加熱時，管子裏的液態氦的平面會超出槽裏的水平面，如圖16—6(a)所示。我們可以用圖16—6(b)的裝置來看這個效應更明顯的現象。如圖(b)中所示由裝有研細的金鋼砂管子隔開液態氦，然後用閃光燈的輻射線來加熱，由於不斷增加的壓力造成一股液態氦噴泉，其高度可達30厘米。

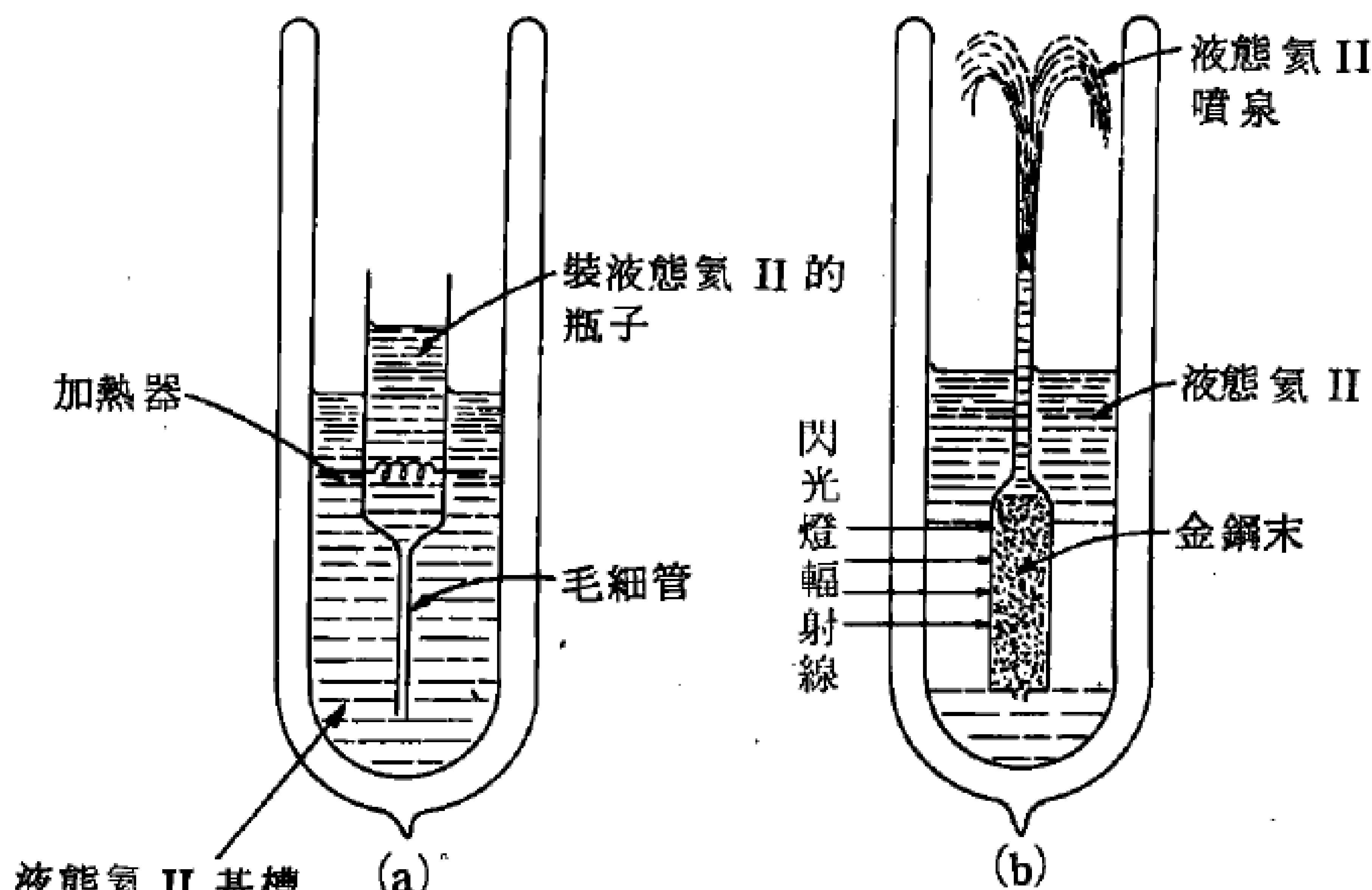


圖 16 — 6

簡單的說噴泉效應即：如果兩個容器或一容器之兩部分由一極細之毛細管、薄縫、小洞或密極粉末間之空隙來連接，且一容器內之液態氦Ⅱ之溫度為T_1，壓力為P_1，另一個容器內的液態氦Ⅱ之溫度為T_2，其壓力則為P_2，正的溫度梯度造成正的壓力梯度。噴泉效應的數字測量為

$$f=\frac{P_2-P_1}{T_2-T_1}$$

此即為

$$f=\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_g$$

g為吉布士函數(*Gibbs function*)。

因爲液態氦在絕對零度時全爲超流體原子，因此超流體原子的熵爲零。因此，當液態氦從一小縫跳離時，沒有熵的損失。

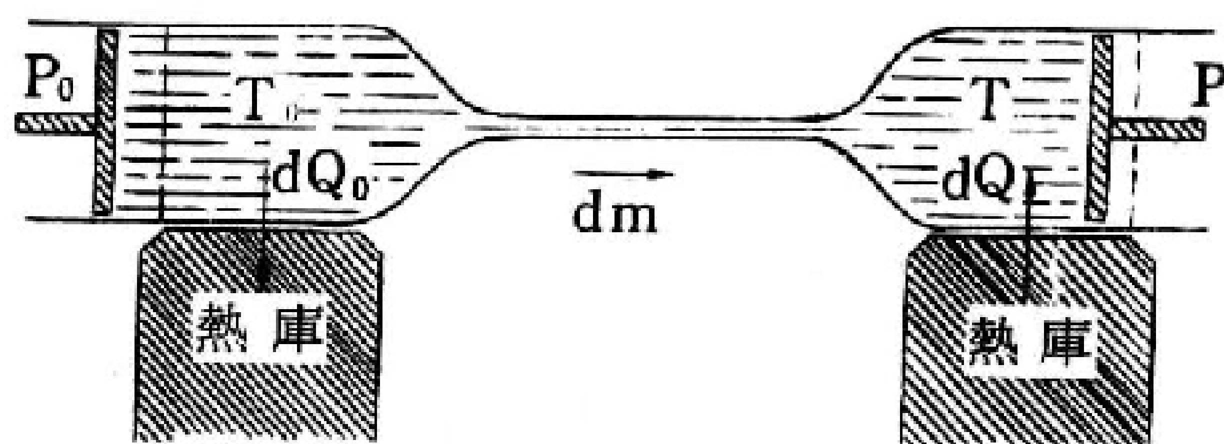


圖 16 — 7　超流體原子的質量傳遞 dm

今假設有兩個瓶子，每個都裝有液態氦 II，中間由一毛細管相接，如圖 16 — 7 所示。如果兩個瓶子都藉適當的熱庫保存在 T_0 和 T 的溫度，則一邊的液態氦有固定的壓力時，另外一邊就會有相對的平衡壓力。假設兩個活塞皆緩慢的朝右邊推進，以保持左邊瓶子裏的液態氦在固定的 T_0 和 P_0，右邊的爲 P 和 T，這是平衡值。設右邊液態氦 II 的質量爲 m，增加量爲 dm，假設（1）只有不帶熵的超流體原子通過這個毛細管，（2）毛細管內無摩擦力亦無熱之傳遞，那麼兩邊的液態都進行等溫、等壓可逆的質量改變。

液態氦 II 經過這種流動損失超流體原子，而不損失熵，則有下列兩式

$$g_0 = g$$

和

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_g = \frac{s}{v}$$

g_0 和 g 分別代表液態氦 II 在等溫 T_0，T 和等壓 P_0，P 的吉布士函數，s 代表液態氦 II 在等溫 T、等壓 P 時的單位質量的熵，其單位是爾格／克－度，P 的單位是達因／厘米^2，v 代表定 T 和 P 時氦 II 的單位質量的體積。

上式中第二式是噴泉效應方程式（*fountain effect equation*）。如果壓力的單位用氦的厘米高度來表示的話，設 y 爲氦的液柱高，a_g 爲重力加速度，ρ 爲氦的密度，$P = y\rho a_g$，則噴泉效應方程式可寫成

爲

$$\left(\frac{\partial y}{\partial T} \right)_g = \frac{s}{v\rho a_g}$$

熵值可由比熱的數據算出，因此

$$s = \int_0^T \frac{cdT}{T}$$

測量噴泉效應的壓力時，必須把較暖瓶中的汽壓增值考慮進去。這項誤差修正之後，計算之熵值和實驗值完全配合。如圖 16－8 所示。

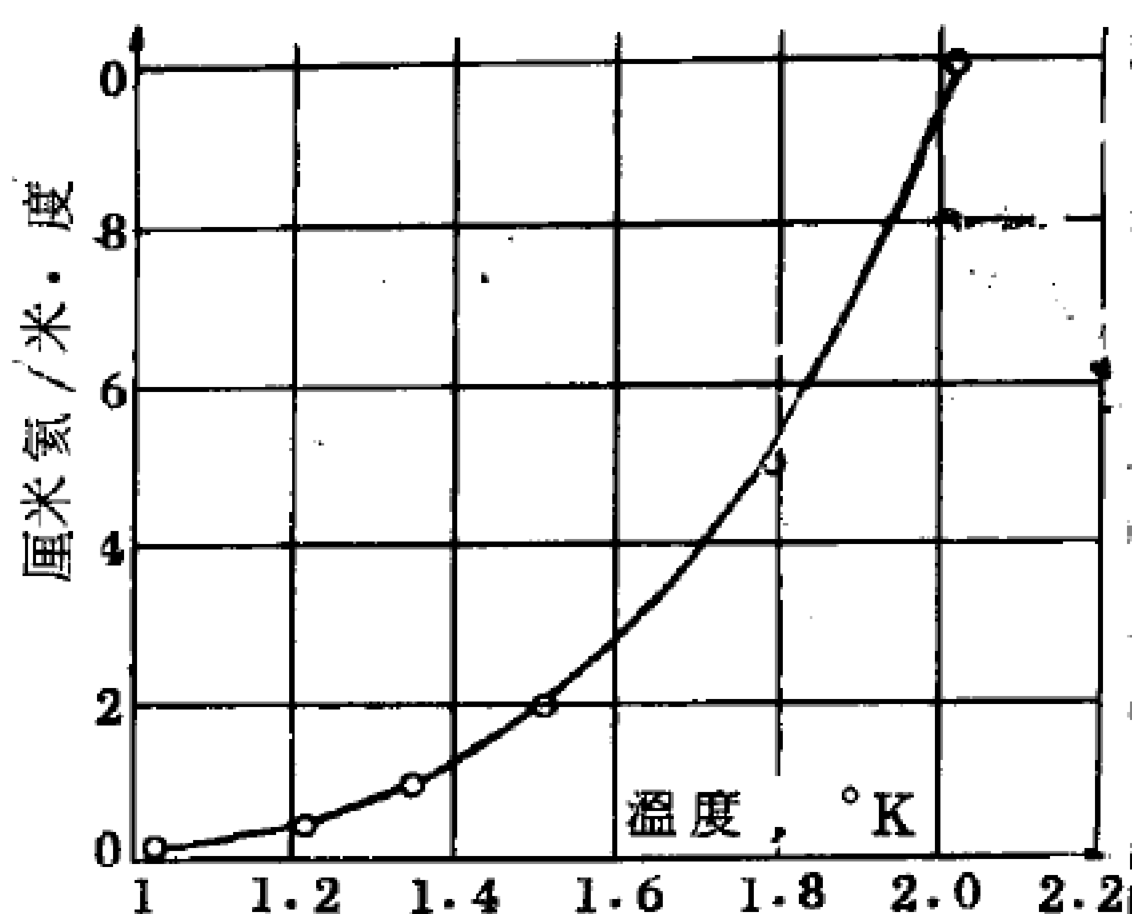


圖 16－8　噴泉效應

【噴射引擎】(Jet engine)

最簡單的噴射引擎（圖 16－9），稱爲衝擊噴射引擎，由一端附有空氣窗而另一端開放著的長管子構成。這種引擎的推力是經過燃料的燃燒而獲得。以石油爲燃料，當石油噴入管內時，石油可藉火星塞而引燃。燃燒結果產生氣體的高壓與膨脹，由於管子的前端被活動的空氣窗所封閉，氣體乃推動管子的封閉端而從後端排出。這種在管子前端發生的高壓，就促成了引擎的向前推進。當噴射飛機戴著引擎前進時，空氣也可在每一次爆炸後，由前端湧進管內；因此，一旦燃料再度噴入時，即可引起另一次的燃燒。只要將這些步驟一再的重複，飛機便可以驚人的速度向前飛行了。

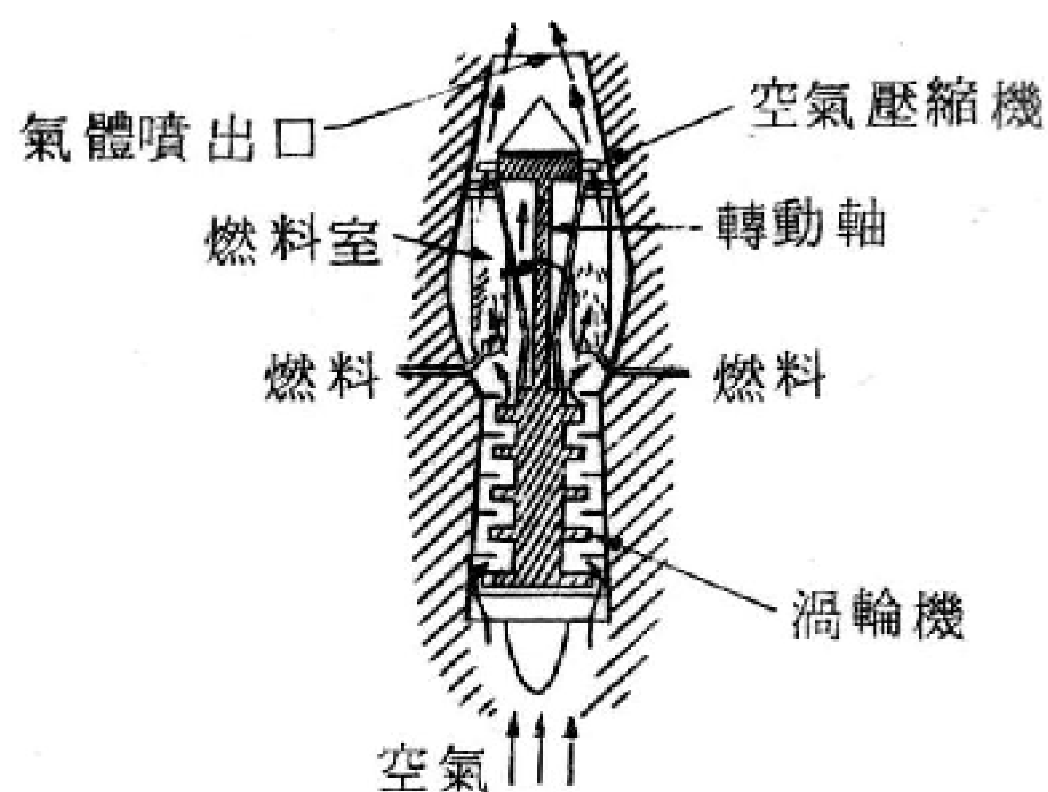


圖16－9　噴射引擎

【噴氣速度】(Exhaust velocity)

是指火箭噴出的高溫氣體在噴嘴噴出的速度，噴出速度會因火箭燃料的燃燒特性及整個火箭引擎效率不同而相異。

【噴氣機】(Jet airplane)

物體向後高速噴出氣體，物體就受噴出氣體的反作用力而向前運動。噴氣飛機就利用這原理而飛行。它是一種不用螺旋槳的飛機。它所使用的噴氣發動機和內燃機完全不同，不過噴氣飛機在飛行中須從機外時時吸進空氣，以獲得助燃的氧氣，使燃料燃燒後形成高壓氣體自噴口噴出機外而前進。壓縮機是由燃燒氣體噴出推動渦輪機，所以噴氣機只能在有空氣的空間飛行。火箭則自備有助燃的氧氣或使用不需氧氣的燃料，因此可以在沒有空氣的太空中飛行。

【噴嘴】(**Jet**)

就是把水蒸氣的熱能變成動能的細縫。由噴嘴噴出高速的水蒸氣時，因突然膨脹而會變成強有力的蒸汽流。

參閱"蒸汽渦輪機(*Steam turbine*)"條。

【噴霧作用】(**Atomization**)

液體噴射出來成極微小的細粒。如汽油先霧化，噴至氣化器內，始受熱而蒸發爲氣體。

【噪音】(**Noise**)

凡物體發生不規則振動時，所發出聲波的波形也不規則，沒有一定的頻率，使人聽之起不快之感，這種聲音叫做噪聲或噪音。車輛及飛機是戶外噪音的來源；進步建築物內電氣設備的馬達，是戶內噪音的主要來源。對於噪音，我們並無解釋的標準，但如機械工廠或紡織工廠的機器聲，其聲音的強度階超過 40～50 db ，都被認爲是噪音，此外突如其來破壞原有的寧靜，也都被認爲噪音。

噪音在心理上的影響是使人不安、分心、不快、煩擾或激怒，而最顯著的莫過於妨害睡眠，嚴重時可以造成失眠。噪音對於生理上的影響雖不如對於心理上的影響那樣顯著，但是長期在強度較大的噪音中生活或工作，會造成耳朵失聰、長期性的疲勞感、血壓上升、工作效率及思慮效率減低的現象，同時聽覺神經長期的緊張，會導致神經性的疲勞。

機器是噪音最大的來源，但切實研究起來，機器活動部分本身所發出的噪音常很有限，噪音最大的來源實爲機器固定部分，如支架和基礎等，因受活動部分的連帶，產生強迫振動或共振而發出噪音，故積極的控制噪音是以避免機器固定部分的強迫振動及隔絕活動部分音波的傳出最爲重要。通常對於機器的支架等部分，墊以富有彈性的物質，機器活動部分罩以外殼，即具有控制噪音的意義在內。

【噪聲係數】（Noise factor）

表示實際接收機內的固有噪聲和無噪聲理想接收機內的固有噪聲電平的比值，此理想接收機則是接於沒有接收任何信號但輸出起伏噪聲的天線上。在這種理想接收機內，固有噪聲電平只決定於天線內熱起伏變化。因爲除了天線的熱起伏變化以外，接收機內的噪聲還有由於接收機本身內的起伏變化而產生的，所以任何一種實際接收機的噪聲係數都大於 1 。不過對於良好的廣播波段接收機來說，噪聲係數接近於 1 ，對於超短波接收機，則增長到數個單位，而在厘米波段接收機內，則達到數十。顯然地，接收機的噪聲係數越小，則由於接收機固有噪聲而不能再接收信號的限度就越低，這架接收機內可能達到的靈敏度就越高。

【噪聲級】（Noise level）

用分貝計算之雜音音量的標準。

【圜線示波器】（Ring solenoid oscilloscope）

倘將一金屬絲製成的圜線張緊於強力蹄形磁鐵兩極之間（圖16—10），並在其中裝上一面鏡子，然後令電流循相反的方向流經圜線的

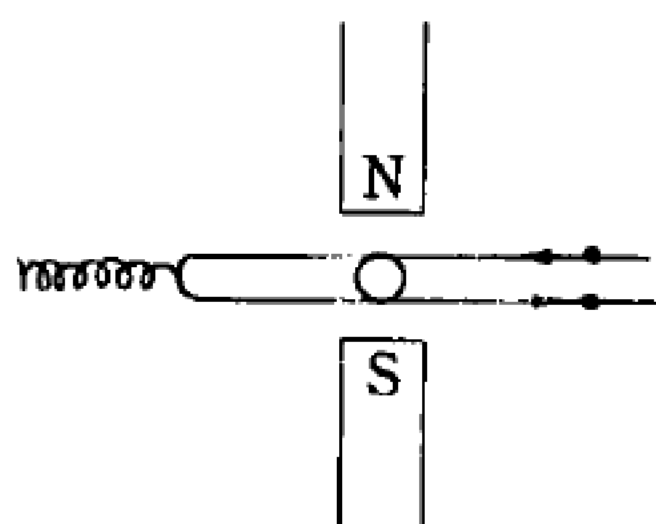


圖 16 — 10　圜線示波器

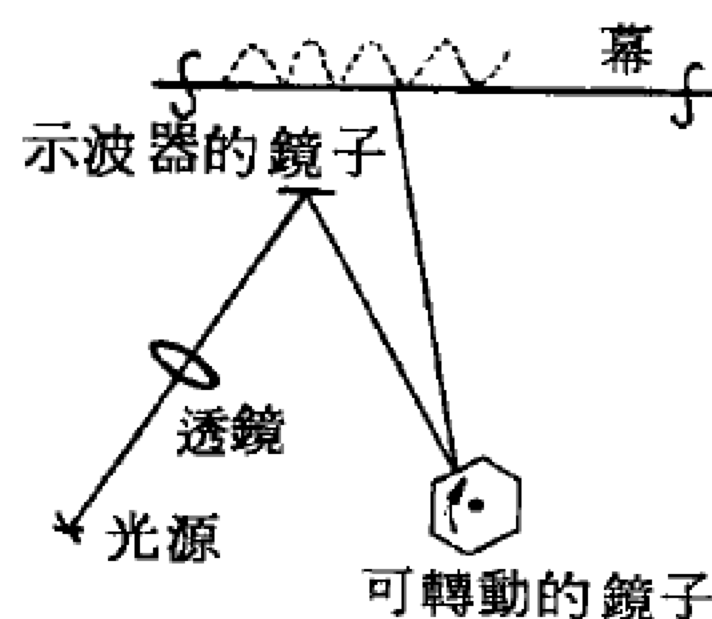


圖 16 — 11
證明正弦交流電的實驗裝置

兩側，則見圈線因受磁場的作用而循相反的方向偏轉，如圖16—10所示，上方的導線會朝圖後而下方者則朝圖前偏轉。如使電流方向倒轉過來，則上方的導線即朝圖前，而下方者則朝圖後偏轉。但如將交流輸入圈線中，則後者便會隨其交變而作振動。爲著要使交流的時間變化清清楚楚的顯示出來，可利用一個透鏡以使一點光源成像於一幕上，其法係使由光源發出的光線投射於示波器的鏡子上，再使由之反射至一轉動的鏡子上（圖16—11）。當該鏡靜止時，在幕上所見者僅爲一直立之線條；但當其轉動時，則該線條便會分開而成一連續的曲線，且這曲線是呈正弦形狀的。

【導出量】（Derived quantities）

由基本量推演出來的物理量，也就是至少含有兩個以上的基本量叫做導出量。如體積是三個長度的積，速率是長度和時間的商。

【導出單位】（Derived units）

爲導出量的單位，即由基本單位（長度、質量、時間）演導出來的單位。如面積和體積的單位都是長度的導出單位。其制係視基本單位的不同，可分爲：

1. C.G.S.制（厘米、克、秒制）——長度用厘米，質量用克，時間用秒導出的單位。如速度爲每秒厘米（*cm/sec*）。

2. M.K.S.制（米、仟克、秒制）——由米、仟克、秒導出的單位。

3. F.P.S.制（呎、磅、秒制）——由呎、磅、秒導出的單位。

【導前角】（Leading angle）

如交流電通過電容器時，電流超前於電壓九十度角。

【導納】（Admittance）

爲總阻抗（*impedance*）的倒數，恆以Y表之，其實用單位爲姆歐（*mho*）。以算式表之如下：

$$Y = 1 / Z = \frac{1}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (姆歐)$$

式中Z為總阻（ohm），R為耗阻（ohm），X為廻阻（ohm），Y為總導（mho）。

在計算並聯電路時，常用導納Y的觀念，其定義

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R+iX} = \frac{R}{R^2+X^2} - \frac{iX}{R^2+X^2} = G + iB$$

此時引進兩個新量G及B，分別稱為電導（conductance）及電納（susceptance）。對R－L電路，$X = X_2 = \omega L$，故

$$Y = \frac{1}{R+iX_L} = \frac{R}{R^2+X_L{}^2} - \frac{iX_L}{R^2+X_L{}^2} = \frac{R}{R^2+\omega^2L^2} - \frac{i\omega L}{R^2+\omega^2L^2}$$

就R－C電路，$X = XC = -\frac{1}{\omega C}$，故

$$Y = \frac{1}{R+iX_C} = \frac{R}{R^2+X_C{}^2} - \frac{iX_C}{R^2+X_C^2} = \frac{R}{R^2+1/\omega^2C^2} - \frac{i/\omega^2C^2}{R^2+1/\omega^2C^2}$$

因此在並聯電路

$$I = \frac{V}{Z_P} = V\sum_{K=1}^{n}\left(\frac{1}{Z_K}\right) = V\sum_{K=1}^{n} Y_K = Y_P V$$

而 $$Y_P = \sum_{K=1}^{n} Y_K = G_P + iB_P = \sum_{K=1}^{n} G_K + i\sum_{K=1}^{n} B_K$$

故導納在並聯電路的計算相當於阻抗在串聯電路的計算。

【導電性】（Electric conductivity）

表示在一定的電場下能產生多少電流即導電性，是對物質導電能力的量度，對於遵守歐姆定律的材料，導電性σ定義為電流密度$\vec{J}$與電場$\vec{E}$的比值，即

$$\sigma = J / E$$

$\vec{J}$與$\vec{E}$恆在同一方向。導電性的通用單位是姆歐（mho）／厘米。

對於各向異性的材料，導電性係一張量，不是純量。固體係藉自由

電子來導電，液體則不需外來的能量，其正負離子皆由溶解質自動解離而成。液態的金屬（即熔融的金屬）其導電的情形與固體的金屬相同，均由自由電子的移動。某些液體為絕緣體，如純水，但某些液體則為導體，如食鹽的水溶液等電解質溶液；在稀釋鹽溶液中，導電性是陽離子與陰離子二者導電性的總和。而氣體則需藉外來的能量，把其分子撞裂而成為離子，才可導電。

【導電體】（Conductor）

易生自由電子，以在體內移動的物體；或一部分有電發生，立即可傳至其他部分的物體。如木炭、金屬、石墨、酸、鹼鹽類之溶液等。

【導線】（Conducting wire）

電力的電線，總稱為導線，一般輸電線線路採用的導線大都是由許多單股線絞製而成的。材料有鋼心、鋁線、銅線、鋁合金線等。配電線路的導線，用得最多的則是銅線及鋁線。電力網路通常用裸線，而電機、電信器材多半用漆線、紗包或其他絕緣線。屋內則用花線及皮線等。

【導線之安全電流限度】（Current limit of conducting wire）

戶外電路所用裸線易於散熱，電流限度甚高。而戶內電路因周圍空氣閉塞，且為包裹線，故溫度易升，電流限度甚低。如美規號數為0000橡皮包裹線與其他包裹線之電流限度為225及325安培。美規號數為18橡皮包裹線與其他包裹線之電流限度為3及5安培。

電壓線若逕相接觸、或接於電阻極小之導線，均可使電流強度高逾尋常，是為短路（*short circuit*）。此可使電路、電機燒損。故電路內皆連以由鎘、錫、鉍、鉛合鑄而成的熔點甚低之保險絲，使線路於未發生短路災害之前熔斷。由鎘、錫、鉍、鉛合金製成之保險絲（*fuse wire*）亦稱伍德合金（*Wood's alloy*）。

【導線之熱作用】（Heating effect of conductor）

串聯廻路上電阻愈大的導線發熱量也愈大，如圖16—12將線圈狀之鎳鉻線與鐵線串聯，然後以電流計與變壓器做成廻路，使廻路電流不超過變壓器之安全電流；

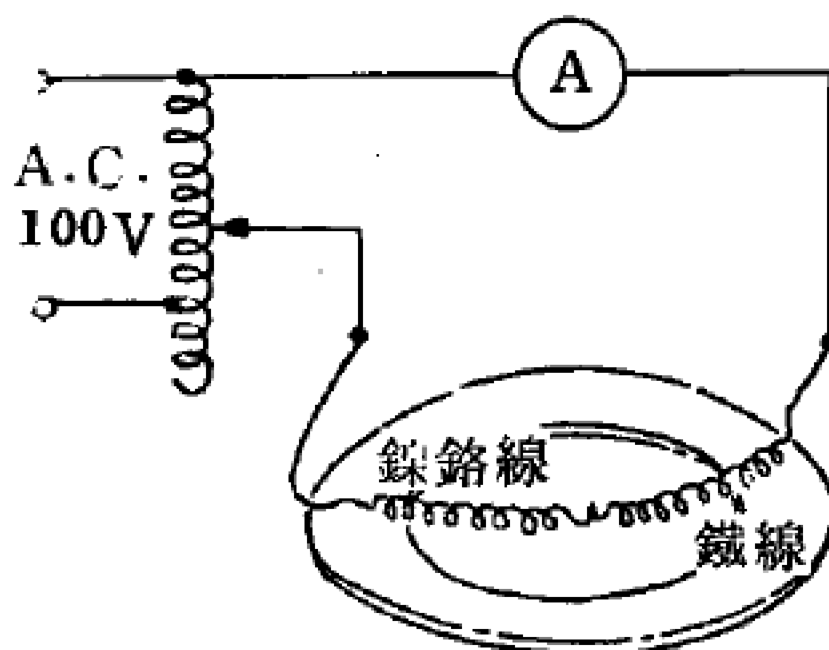


圖 16—12

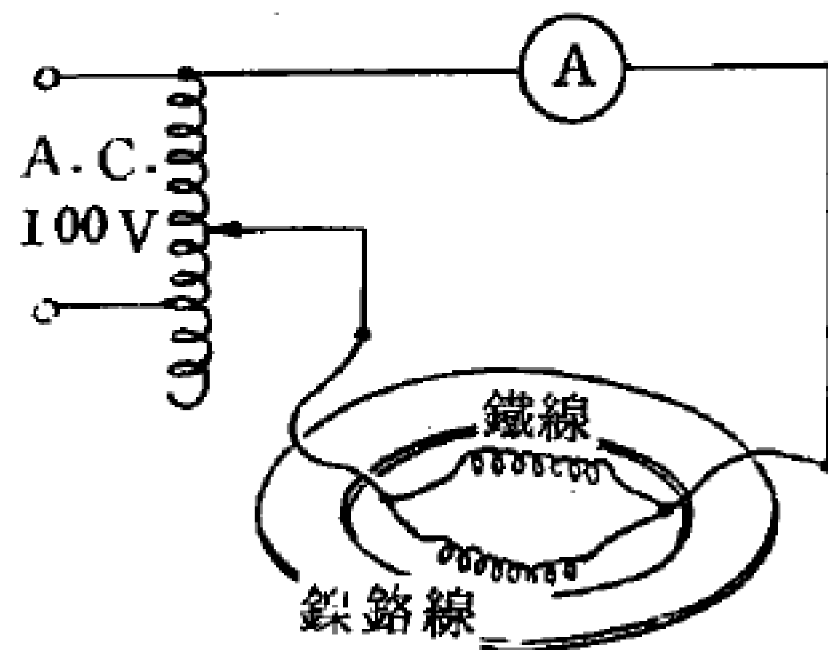


圖 16—13

提高變壓器電壓，將火柴棒觸鎳鉻線則會發生火，而觸鐵線則不然。此乃因相同電流通過電阻不同的導線，電阻愈大的導線其發熱量愈高，故溫度較高。

而在並聯廻路上，則電阻愈小的導線發熱量愈大，如圖16—13將線圈狀之鎳鉻線與鐵線並聯，邊看電流計以防廻路電流超過變壓器的安全電流，邊提高變壓器的電壓，以指頭觸鐵線則會感熱，而觸鎳鉻線則幾乎不會。此乃因在並聯電路時，各導線之兩端電壓差相同，則通過電阻小的導線，其電流較大，故發熱量就亦大。

【導熱極限】（Limit of thermal conduction）

通常情形下，熱管的導熱量愈大時，它內部的質流（*mass flow*）愈大，動量也愈大。如果導熱量不斷增加到某種程度時，其內部會有特殊現象產生而使熱管無法維持正常作用，此時的導熱量稱之爲導熱極限。

【導體】（Conductor）

凡含有可自由移動之帶電質點的物質，即當物體的兩端加以不同的電動勢時，若有電流通過其中，則稱此物體爲導體，物質依導電的程度可分爲導體、半導體和非導體。

以導體與帶電體相接觸，則電能傳達於其上，如金屬、酸類、鹽類

、碳、人體、濕空氣等，稱為電之導體。不容易導電的物質為電的不良導體或絕緣體。金屬之導電完全由帶負電質點（即自由電子）的運動。液體與氣體的導電，是由於帶負電與正電質點的同時運動。

導體電位的決定因素，有導體本身所荷電量和空間原存電位（即鄰近其他電荷的影響），以及導體之形狀與大小的影響。導體與非導體的區別並非絕對的，當溫度升高時，導電能力減小，這是與半導體的主要不同點之一。

【操作型定義】（Operational definition）

在處理運動問題時，需要空間與時間的基本觀念，以及對其量度的參考坐標。根據牛頓的看法，空間和時間是絕對的，即空間的存在是永恆的，與空間裏是否有物質的存在毫無關係。而時間是一直向前"流去"，與物體之存在及物理現象之發生毫無關係。

時間與空間雖然是毫無關連，但是如果我們把物體牽涉到裏面，時間便似乎與空間有點關係；因為我們無法想像一個物體存在於空間內而不佔據一段時間，或者一個物體存在一段時間但並不佔據空間內某一位置。

用日常生活的常識觀念來表示時間與空間的性質，這些直覺的觀念似乎很正確，不過討論相對論時，我們將看到由這些觀念推演出來的一些結論是與經驗（或者實驗）相衝突的。這是因為我們在敘述這些直覺的時空觀念時，曾下了一些極基本的假設，即空間是歐幾里得空間，並且時間與空間毫無關連。在物理學裏一個基本假設之正確與否，唯一判斷的方法是實驗。

物理學及其他自然科學都是建立在實驗的觀測上，因此，物理學家定義一個觀念時是基於數量的量度（*quantitative measurement*），以及量度的方法；而不是只根據字典上的定義。例如，在定義長度（或空間間隔）的觀念時，我們只敘述一隻米尺使用的步驟，以及如何複製另一

隻良好的標準米尺，以便每人所量得的數據都是相同的。因此，在物理學上一物體之長度的觀念，只是以一標準米尺用特定的方法比較（或量度）出來的有單位的數字。時間的定義也是和長度的定義一樣；我們說時間間隔幾分鐘或幾秒鐘，便牽涉到如何做一標準鐘，以及如何用這一標準鐘去量時間。所以時間只是依照特定的方法用一標準鐘量出來的具有單位的數字。如此之定義稱爲操作型定義。

【操作器】（Manipulators）

爲了能安全地操作放射材料所設計的機械。通常操作者站在遠距離的保護屏蔽之後。

【整流】（Rectification）

當整流器和交流電路串聯後，僅容許電流在一個方向流通，使輸入的交流電變爲脈衝直流電，這種使交流電變爲直流電的作用叫做整流。

如圖 16－14 所示，二極管把電流的大小與方向隨時間變化的交流，變成只由一方流通的脈流（直流的一種）。由於二極管只作爲這種目的之用，所以也叫整流管（*rectifying valve*）。

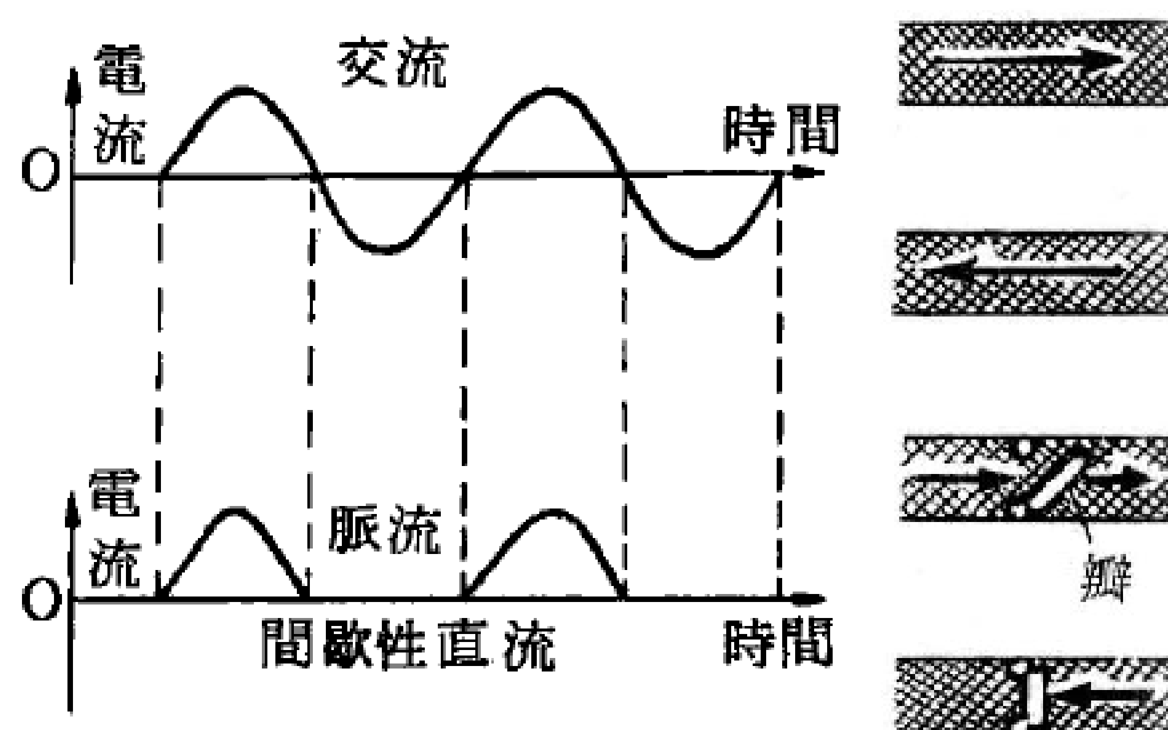


圖 16－14　二極管的整流作用

通常收音機的電源都用交流，但利用二極管的整流作用獲得直流。

【整流效率】（Efficiency of rectification）

指整流器輸出的直流電力對輸入交流電力的比值。

【整流電動機】（Commutator motor）

使串繞直流發電機，作交流電動機用，即成整流電動機。因交流電在磁場與電樞電路中，係同時轉向，故力偶矩之方向恆保持不變，該機

乃轉動不停。

此種電動機因兼可使用交、直流，故又稱通用電動機（*universal motor*）。眞空吸塵器、縫紉機及其他家用電器等多裝用此種電動機。

【整流電導率】（Conductance for rectification）

詳閱"電導率（*Conductivity*）"條。

【整流管】（Rectifying valve）

變交流電爲直流電的過程叫做整流（*rectification*）。要改變交流電爲直流電，必須使用一種裝置使電流僅能在一個方向流通。二極眞空管可作整流器用。因二極管的屏極不加熱，它不發射電子，所以沒有電流由屏極流向陰極，但屏極接有正電壓，能吸收陰極空間電荷中的電子，因此二極管只能由陰極至屏極導電，由屏極到陰極則不會導電。

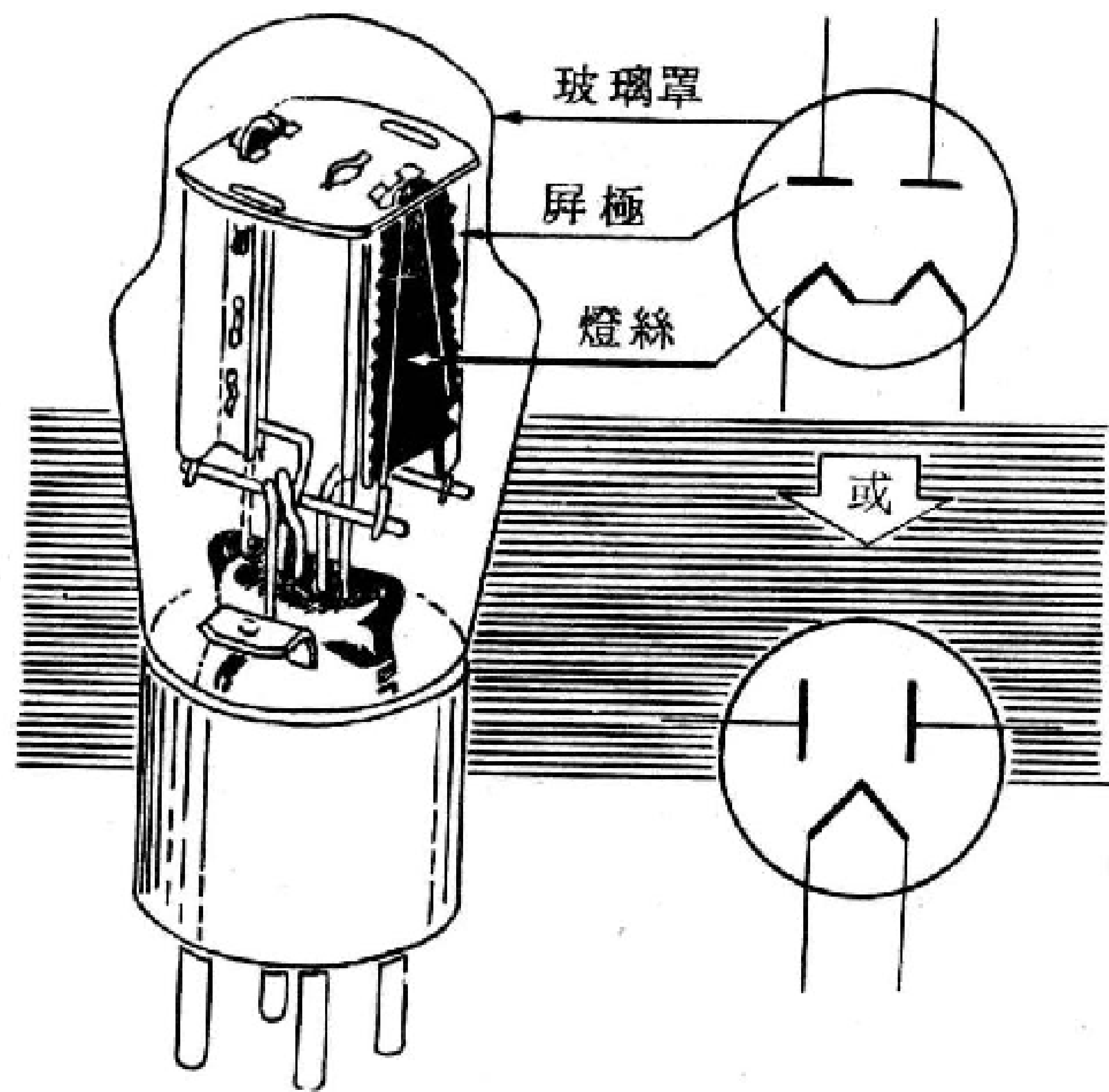


圖 16—15　雙二極管整流器

任何二極管均可將交流電整流成直流電，但有些則特別設計作電源供應器用，這些管叫做整流管。圖 16—15所示爲一個典型的整流管，這是一只雙二極管，在同一個玻璃罩內安裝二個二極管，陰極用直

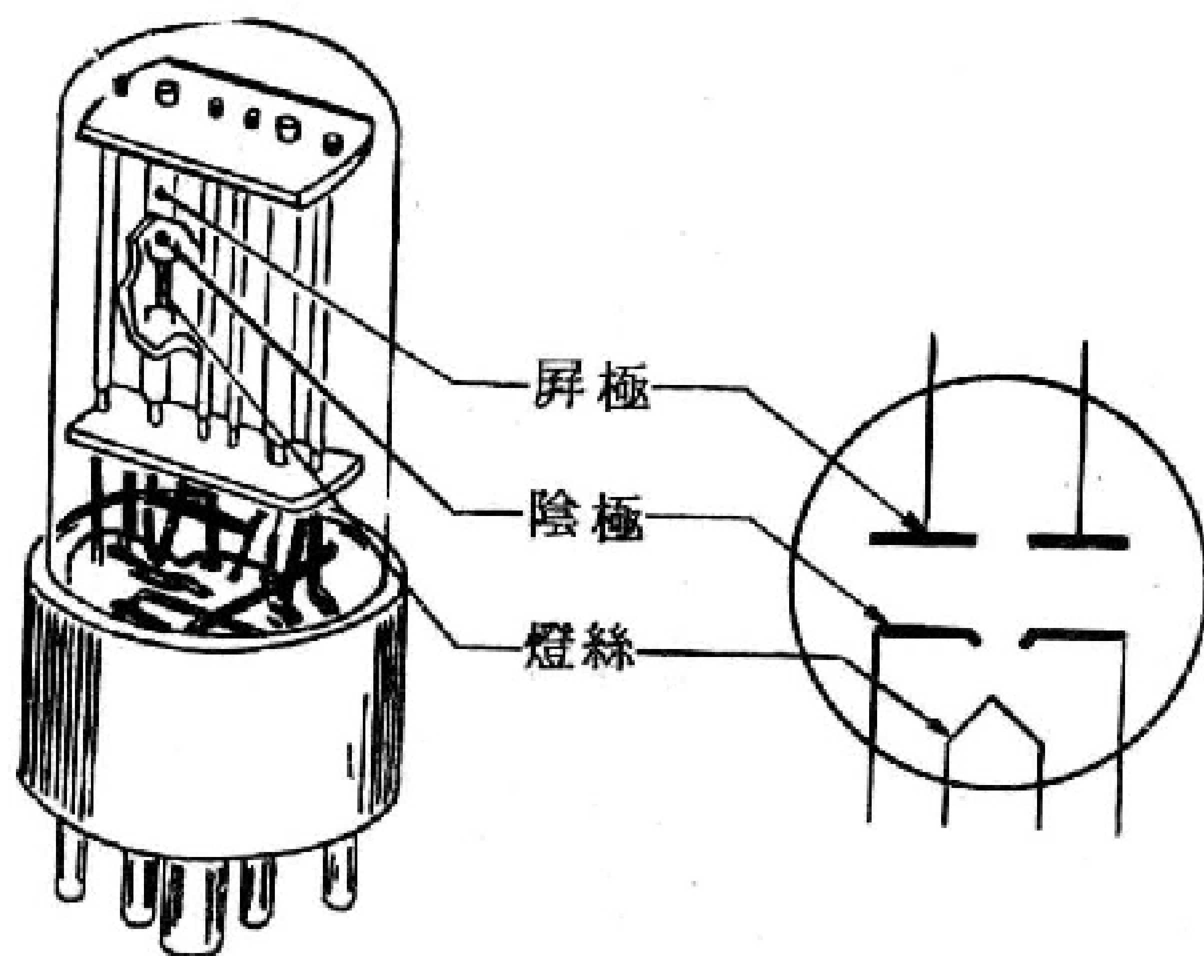
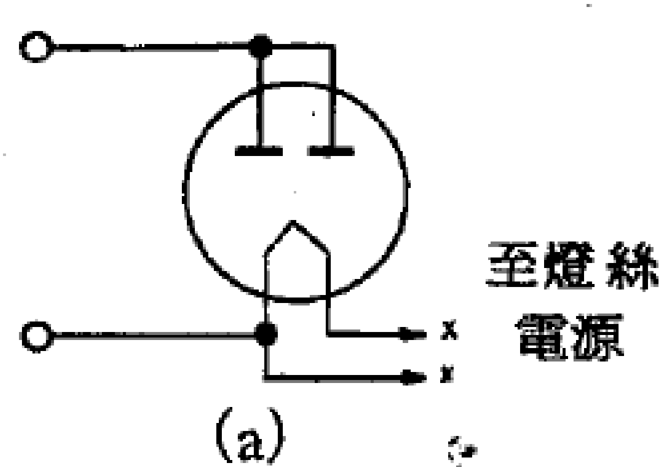


圖 16—16　間接熱陰極性整流管

接熱式，燈絲亦即陰極，二個燈絲在內部串聯相接，懸於二金屬的屏極中間。

有些整流管的陰極用間接熱式，典型的一種如圖 16－16 所示。所有眞空管都用號碼制來識別它們的型式，指示其某些特性。如圖 16－15所示者爲 80 型眞空管，圖 16－16所示者爲 117*Z*6-*GT* 型式。



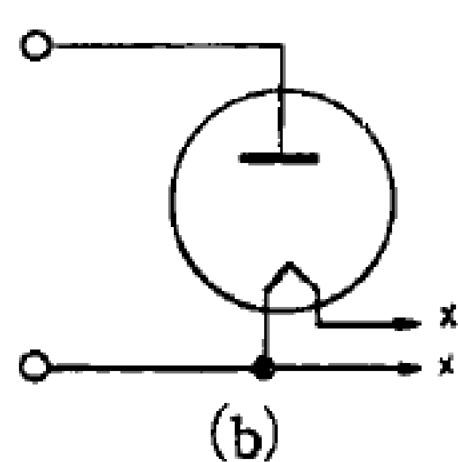
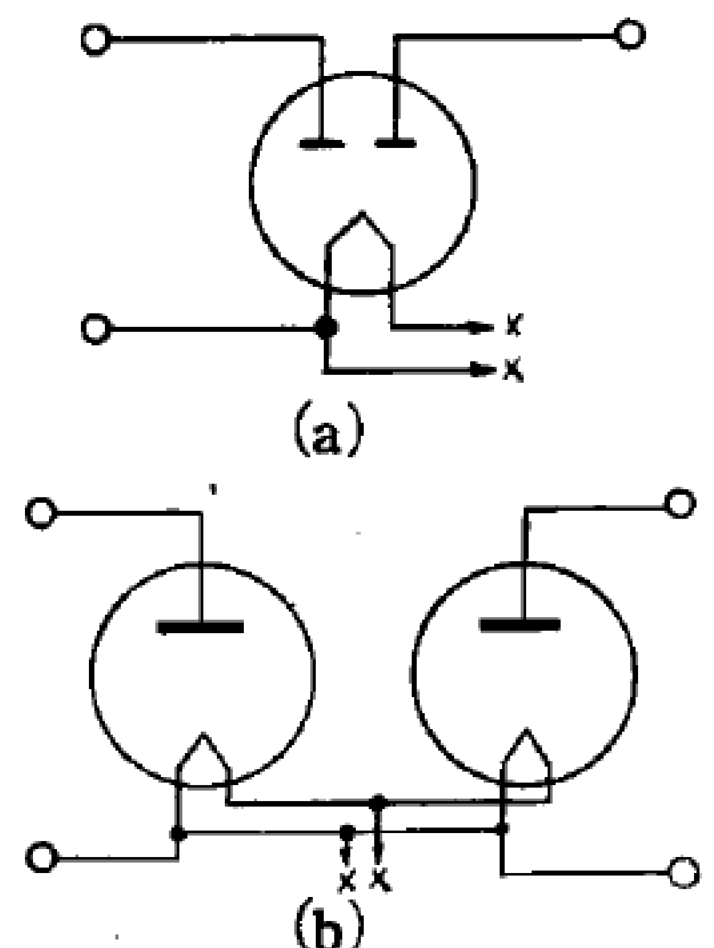


圖 16－17



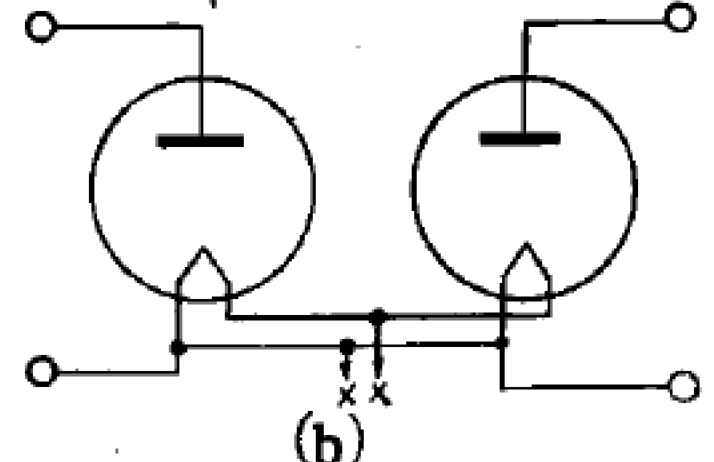


圖 16－18

整流管有二個屏極一個燈絲者，其接法有二。如將二個屏極連接在一起（如圖 16－17(*a*)），其作用與一個二極管相同（如圖 16－17(*b*)），惟在效應上其屏極面積可增加。

另外一種接法是屏極分開連接（如圖 16－18(*a*)），屏極可以分別接到不同的電壓，其效應猶如二個單獨的二極管（如圖 16－18(*b*)），把陰極連接在一起，其屏極電路不管如何接法，只要屏極比陰極電壓爲正，即有屏流通過。

【整流器】（Commutator ; Rectifier）

整流器可將交流負半週的波形除去，使交流變爲脈衝直流。因此在整流器的輸出波形，只含有正弦波的正半週波形。一理想的整流器可視爲一個開關，正半週的交流輸入時，就有電壓輸出，如同開關接通（*on*）一樣；反之，如果負半週交流輸入，則無電壓輸出，也就相當於開關切斷（ *off* ）一樣。所以當正半週的交流輸入，此開關的有效電阻爲零；而在負半週的交流輸入時，有效電阻爲無窮大。實用上的整流器，不可能如此理想，但差之不遠。電子管整流器未導電（在交流的負半週）

時，其電阻極大，此時的電阻稱爲逆向電阻（*back resistance*）；整流器導電（交流的正半週）時，其電阻爲零或爲某一固定值，此時的電阻稱爲順向電阻（*forward resistance*）。無論任何情況，所有的整流器都只能向一個方向導電。此種特性稱爲單向傳導（*unilateral conduction*）或單向特性（*unidirectional characteristic*），二極管就具有此種單向特性。

任何含有射極（*emitter*）或陰極（*cathode*）及集極（*collector*）或陽極（*anode*）的電子另件，都稱爲二極體（*diode*），在習慣上，電子管二極體通稱爲二極管，而電晶體二極體則稱爲二極體，但通稱爲二極體。因爲二極體中的電子只能向一個方向流，而二極體的單向傳導特性，對於整流是必須的，同時無論何種二極體言，都是此種單傳導特性。二極體有各種形式，如眞空的二極電子管，氣體二極電子管，矽（或鍺）的二極半導體，金屬形的則有氧化銅或硒的整流器等。雖然整流器是以電子管整流器爲對象，但也可用其他二極體代替電子管，作整流器用。電子管以外的二極體，具有無絲極的優點。這也是近來硒質整流器及晶體整流器，在電視及無線電接收機方面越來越普遍的原因。

【整數】（Integer）

無分數或小數的數目。

【曆】（Calendar）

曆是計算連續的年月方式。用以判別節候，記載時日，規定計算時間的標準。古人最自然的認識，皆以晝夜交替的一日，月球盈虧的一月，及寒暑變遷的一年，作爲曆的尺度。故曆乃推求一日、一月及一年間的關係，以適於人類社會的實際生活。曆法有二種：一爲太陽曆，乃據太陽運動所測的一年爲基礎；一爲太陰曆，乃以太陰盈虧的變動爲基礎。

計算的方法，都是以天體的運動爲根本原理，曆的要素是日、月、年。曆上所用的日，是平均太陽日，就是平均太陽兩次通過同一子午圈所歷的時間，也就是地球對於太陽相對的一自轉的時間，按晝夜的區別來決定。

日常所使用的曆，是依據地球環繞太陽的公轉週期而創制的，所以叫做太陽曆。地球的公轉週期是 365.2422 日，故以 365 日爲一年，閏年以 366 日爲一年，藉以調整尾數 0.2422 日的差。

【橫向位移】（Lateral displacement）

圖 16－19中，光線在A點遇平行玻璃板之一面，即在此向法線的一邊折射，且遇玻璃板之下一境界面於B點。光線在B點之折射，與在A點之情形正好相反，即自玻璃進入空氣。N_1N_2以及N_3N_4爲法線。在A點之折射角β，變爲在B點之入射角γ；而在A點之入射角α，至B點則變爲折射角δ，且其大小與原來的入射角相等。故自玻璃射出的光線BC與入射線DA平行；換言之，平行玻璃板之影響，不過是使光線發生橫向位移而已。玻璃板愈厚，射入玻璃板之光線愈傾斜時，則此種橫向位移愈大。故經過薄的玻璃窗斜著觀察某物時，其橫向位移並不顯著。僅當玻璃之製型或磨工不正確，亦即玻璃板之厚度不勻時，才會使視界裏的東西發生歪扭現象。

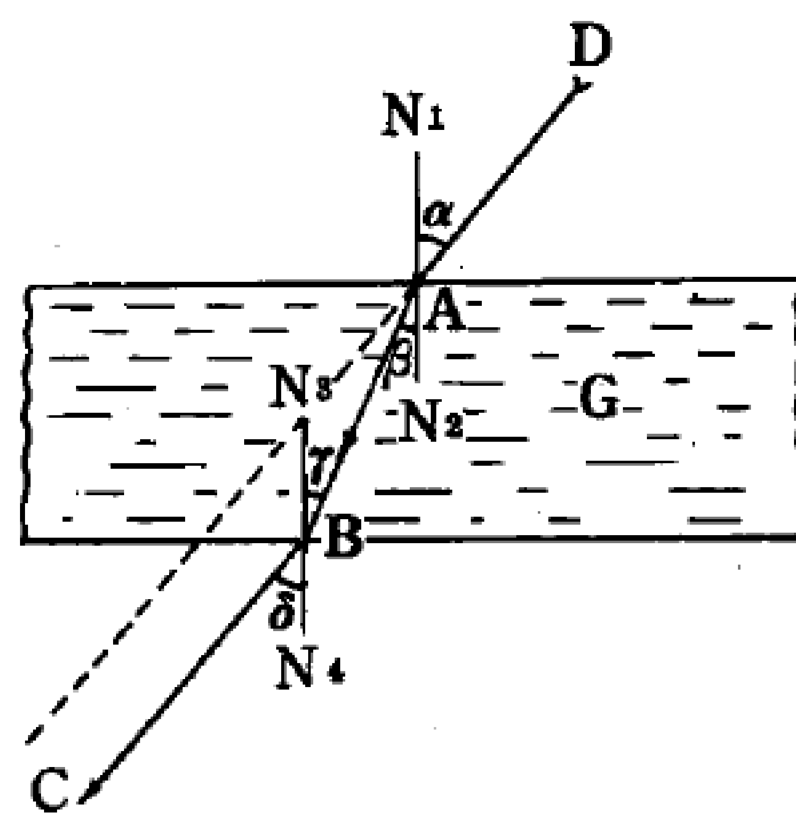


圖 16－19
經過平行玻璃板之光程

【橫向放大率】（Lateral magnification）

圖 16－20　之箭頭頂端發出的光線（dve），在鏡之v點反射通過箭頭像的頂端。反射定律要求此線與鏡軸所成之兩角θ相等。由圖中二相似直角三角形可知：

$$\frac{ce}{bd}=\frac{vc}{vb}$$

左端之量（除符號外）爲鏡的橫向放大率m。因欲以一負放大率表示倒像，今隨意定此時之m爲$-(ce/bd)$。因$vc=i$，$vb=o$，即得

$$m=-\frac{i}{o}$$

此式表在所有情形時球面鏡與平面鏡的放大率。平面鏡時$o=-i$，放大率爲$+1$，表示爲正像，並與物同樣大小。

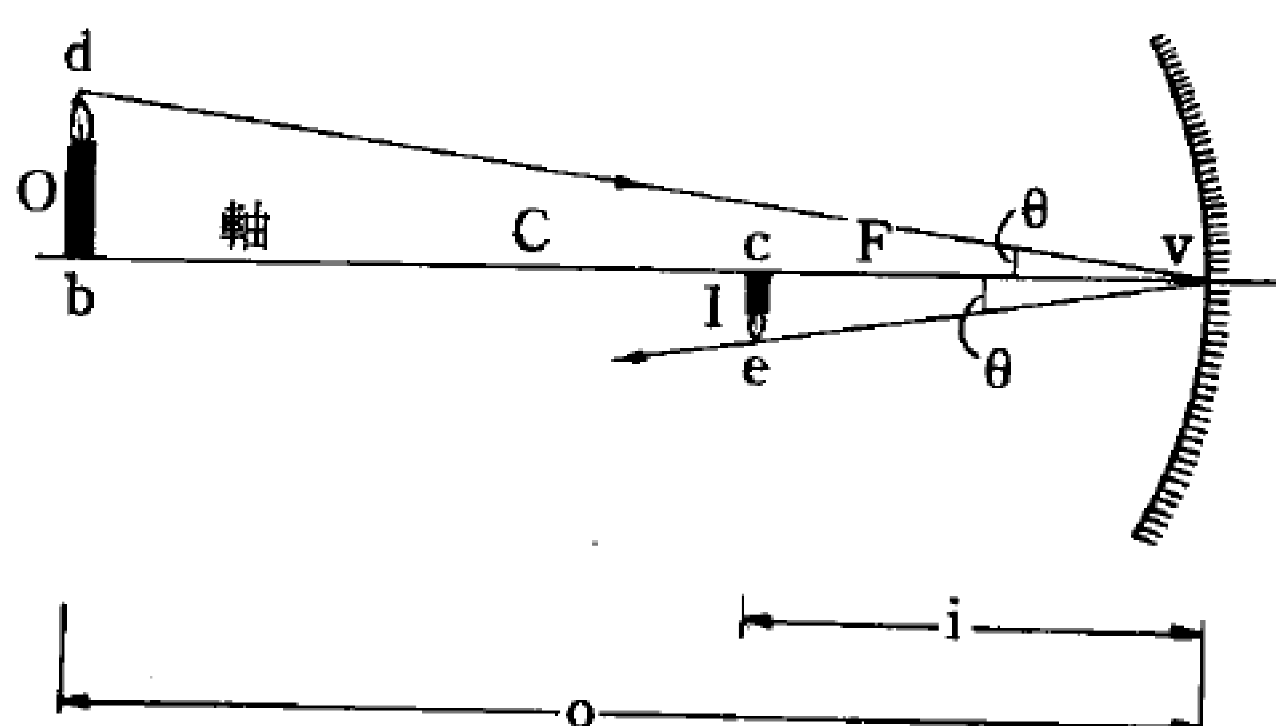


圖 16 — 20
排列中一特定光線，用以說明橫向放大率m等於$-i/o$。

對於薄透鏡的情形，如圖 16—21 所示，在相似三角形abc和dec中

$$\frac{de}{ab}=\frac{dc}{ac}$$

則其橫向放大率$m=-\frac{i}{o}$

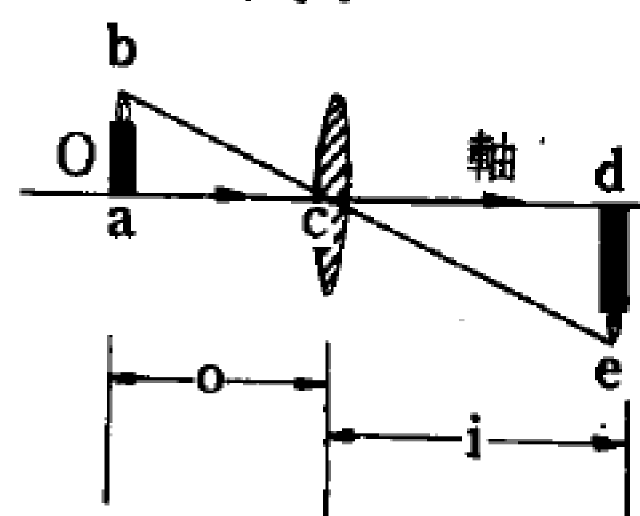


圖 16—21

【橫向電場】（Transverse electric field）

在自由空間內傳遞的平面波，其電場必須垂直於波的進行方向，這種電場爲橫向電場。

【橫向像差】（Lateral aberration）

一物AB，置於透鏡L前（如圖 16—22），除非由物射來之光爲單色光，否則當它通過透鏡時，將被色散，因而產生一系列大小不同的像，替代單

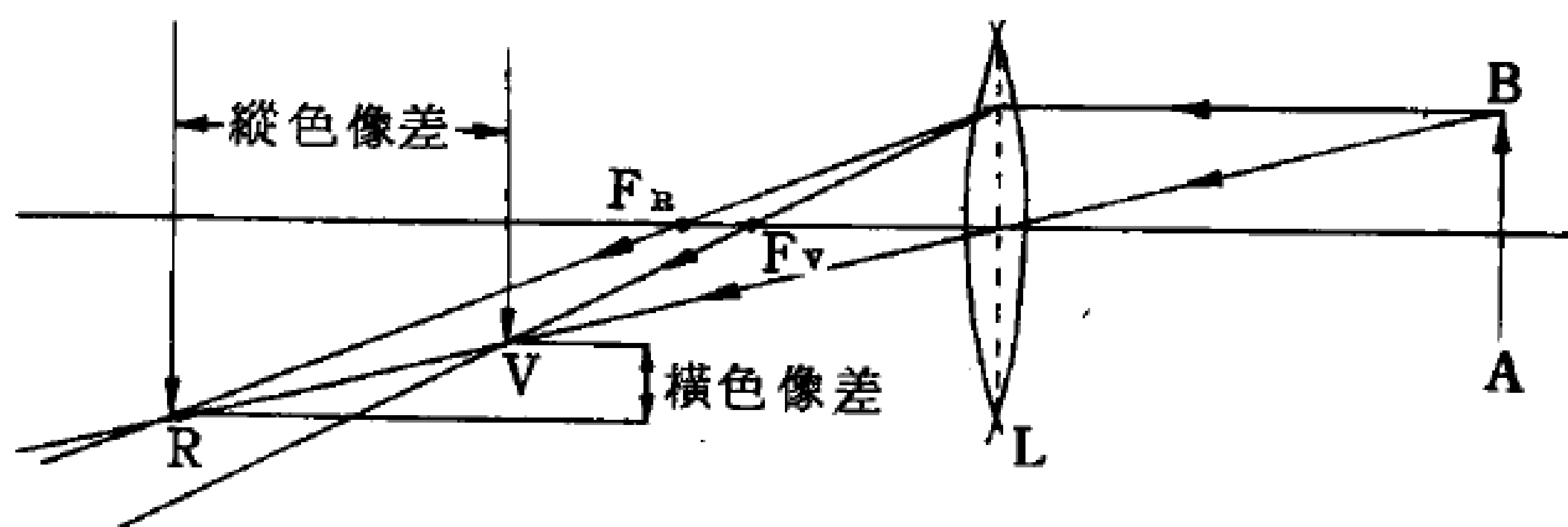


圖 16—22　透鏡中之橫色像差與縱色像差

一之像。對每一色光或波長有一像與之對應，圖上所示僅係對應於紅色與紫色兩極端之像，其間之距離已予誇大，由於此側邊的色散，像之邊緣出現色彩。

【橫波】（Transversal wave）

介質（傳送波的物質）振動方向和波動進行方向互相垂直之波稱爲橫波，又名高低波，如水波、繩波、光波、無線電波、地震波等。

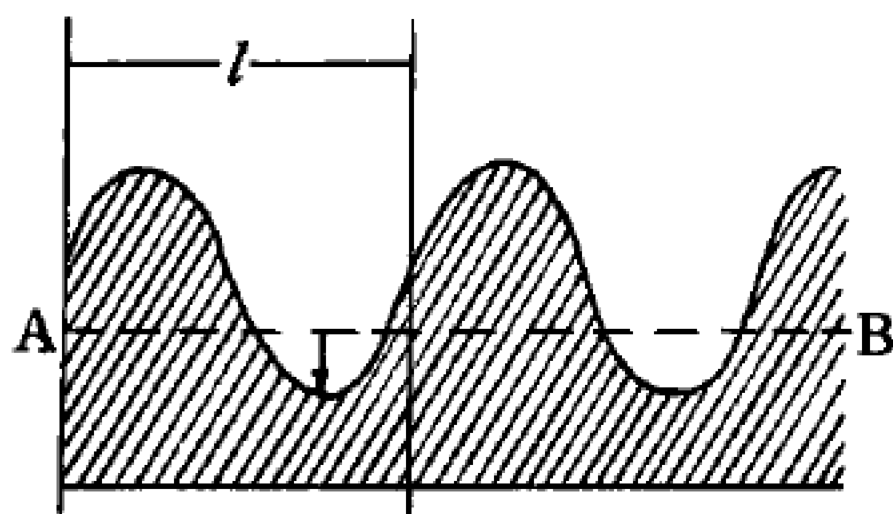


圖 16 — 23

將橡皮繩一端固定，另一端用手把它拉平後上下擺動，就形成一個凹凸的狀態向固定端傳過去，這凹凸狀態在繩上的傳播，實際上就是振動的傳遞，如圖 16 — 23所示，玆分述其各部名稱如下：

1. 水平面（*level*）——AB線。

2. 波峯（*crest*）——凸起之點。

3. 波谷（*trough*）——凹下之點。

4. 波長（*wave length*）——相鄰兩峯或兩谷相當點間的距離。l 係波長。

5. 振幅（*amplitude*）——峯或谷和水平面間的距離。

【橫截面】（Cross section）

以機械槍（*machine gun*）隨意射向遠方面積爲A的目標靶，但在這靶上已事先隨意擺上但不重疊面積爲σ的薄盤，假定q是薄盤的數目，R_0 是子彈撞擊靶的速率，則薄盤被破壞的速率R爲

$$R = R_0 \left(\sigma q / A \right)$$

如R_0、R、q、A爲已知，可得

$$\sigma = RA / R_0 q$$

則σ稱爲此事件之橫截面。其他尚有吸收橫截面、離子化橫截面和散射

橫截面等。

【橢圓星雲】(Elliptic nebula)

此類星雲是呈透鏡形狀，中央部分最明，愈向外側愈漸暗淡；所以於長時間的攝影下，面積頗大。梭狀星雲有時和這類星雲一樣。例如 N.G.C. 4621，3379 等星雲，就是屬於這類。

【橢圓軌道】(Elliptic orbit)

1.質點在線性回復力 $\vec{f}=-k\vec{r}$ 的作用下運動時，若角動量不為零，則其軌跡為一橢圓。若角動量為零，則作簡諧運動。

2.一質點受平方反比引力（$f=-k/r^2$）作用而運動時，若該質點的總能量為負值，則質點亦沿橢圓軌道運動。

【橢圓偏振】(Elliptical polarization)

光是橫波所以它會有兩種獨立的偏振狀態（對某一固定方向進行的光），如把光的進行方向定為 z 軸的方向，而電場振動的方向就可以有 x、y 兩個獨立的方向。定義電場方向是 x 方向（磁場方向就當然是 y 方向了）的電磁波的狀態稱為在 x 方向的線偏振（*linear polarization*）。同樣地，如果電場的方向是在 y 方向的話，那麼它的偏振就是 y 方向了。然若將磁場的方向定成偏振的方向亦可。

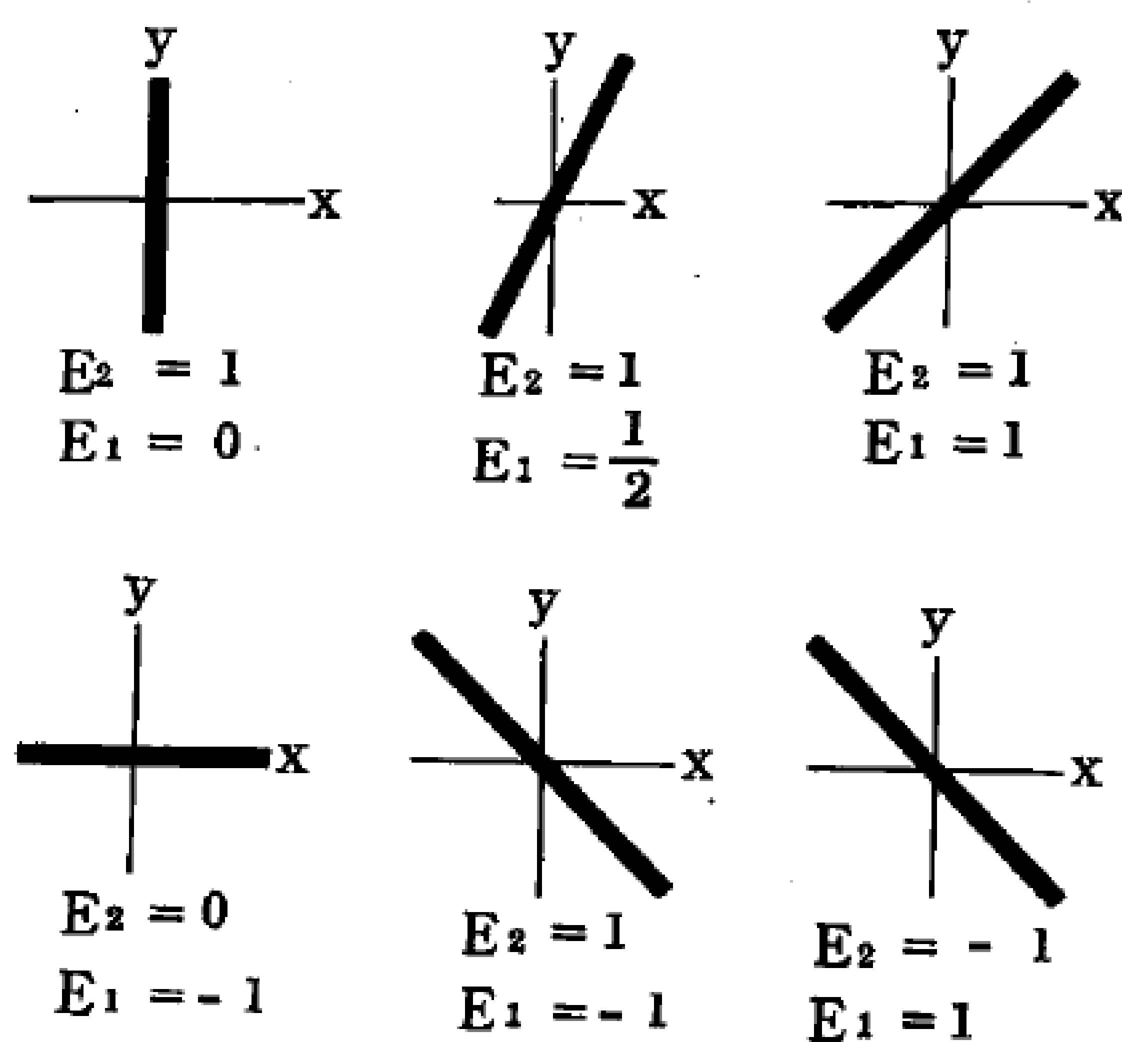


圖 16—24

同相位電磁波的電場振盪情形

所有的偏振狀態都可以被寫成這兩種的組合，也就是如果我們現在有沿 $\vec{z}$ 方向進行的光，則此電磁波的電場可以被寫成

$$\vec{E}(t)=\vec{i}E_x(t)+\vec{j}E_y(t) \qquad (1)$$

如果我們考慮的是在眞空中進行的單頻波的話，E_x ，E_y 可被寫成

$$E_x(t)=E_1\cos(\omega t+\varphi_1)$$
$$E_y(t)=E_2\cos(\omega t+\varphi_2) \qquad (2)$$

E_1 ,E_2是常數，也就是 x 方向和 y 方向的最大電場，φ_1 與 φ_2 都是相位常數（ *phase constant* ）。若 E_1、E_2、φ_1和 φ_2 的值是已知，則這個電磁波的偏振和能量通量都可決定。

其實我們並不需要知道個別的相位 φ_1 ,φ_2 ，我們只需要知道 $\varphi_1-\varphi_2$ ，也就是它們的相對相位而已。首先，考慮一個最簡單的情形，$\varphi_1=\varphi_2=0$；從（1）式和（2）式中可以看得出來，當 E_x 最大時，E_y 也是最大（我們指的是絕對値），而這時候 E 永遠只在同一個方向，我們將各種不同的 E_1 和 E_2 所含成的 E ，以圖 16－24 表示出來。

這些光的偏振，因爲電場都只在一個方向，所以這些都屬於線偏振。其實，x 方向、y 方向也並非是什麼特殊的方向，所以我們也未嘗不可把圖中的電場方向稱爲 x 方向或 y 方向。因此，就基本上來說，這些偏振狀態是和我們用來作基本的那兩個是一樣的，也就是這些光的電場可以被寫成

$$E(t)=\varepsilon E\cos\omega t$$

如果相位 $\varphi_1\neq\varphi_2$ 的話，使得 E_x 和 E_y 不會同時在最大的地方，因此 E 也就不會是同一個方向。我們可以用一個比喻去看，一個單擺擺上的小球可以在平面上自由擺動，它會作簡諧運動，也就是正弦的振盪；如果這小球在 X 和 Y 方向以同樣的頻率振盪時，則只要我們適當地選擇小球的起始位置和起始速度，我們可以使這小球在 xy 平面上，沿著任何直線振盪（這就跟 $\varphi_1=\varphi_2$ 情形一樣），或者是成一個橢圓軌道（也就是 $\varphi_1\neq\varphi_2$ 的情形）。這裏論述一個比較重要的情形 $E_1=E_2$ ，如圖 16－25所示，有一些電磁波是我們在圖 16－24 所見的線偏振光，有一些電場並不保持一定方向，而係以波進行的方向爲軸環繞旋轉，且

向量大小隨時間改變，而其向量是沿著一個圓或橢圓變化，這些偏振的方式稱為橢圓偏振。

產生橢圓偏振的原因，起因於兩個振幅不等的平面偏振波相重疊，而重疊的相位差為四分之一波長的奇數倍。當平面偏振波通過一片雙折射晶體時，沿著光軸的偏振和垂直於光軸的偏振兩者間將生一相位差，此二成分在穿出晶體時復相重疊，在適當條件下可能產生橢圓偏振波。

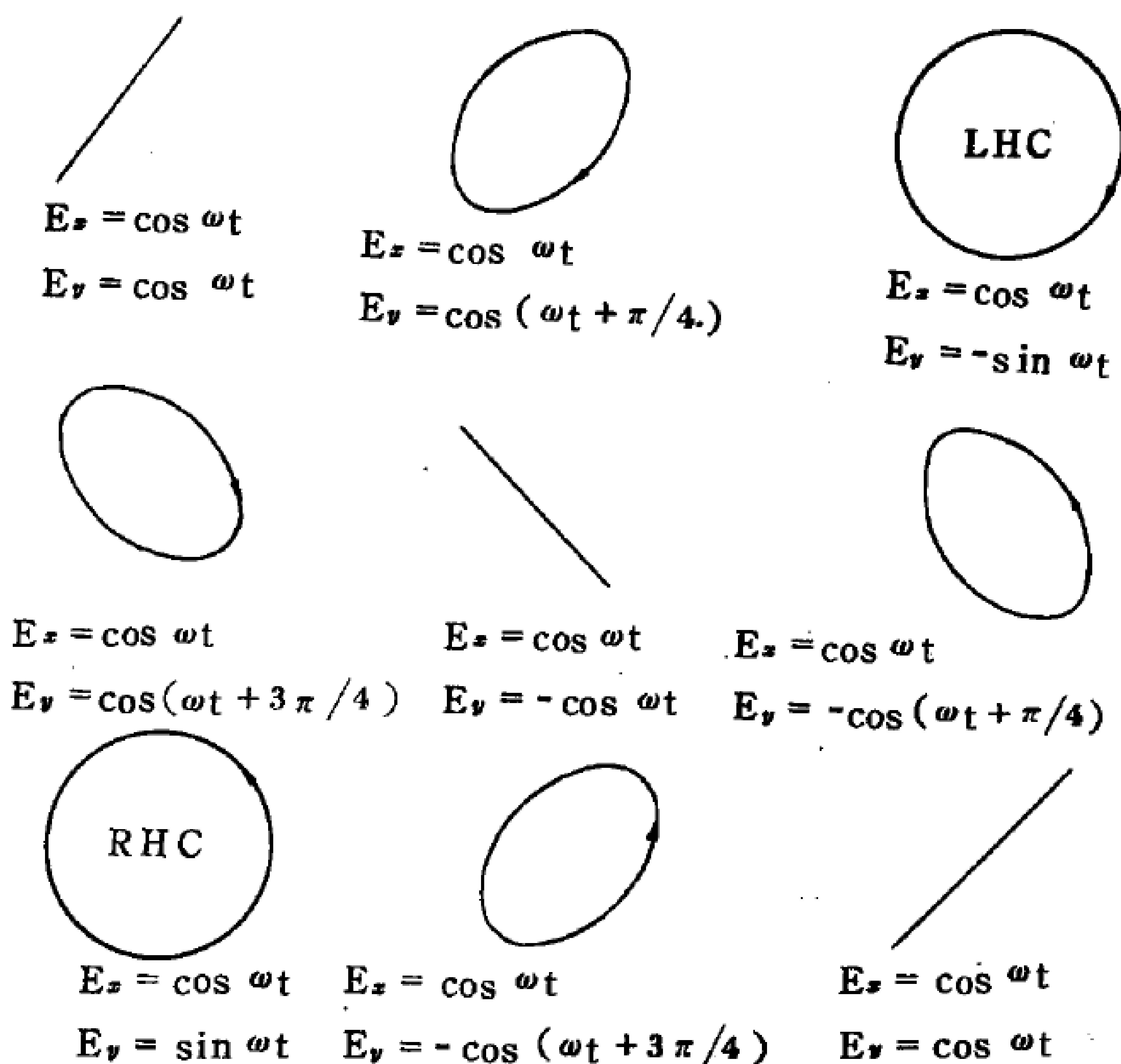


圖 16 — 25　不同相位電磁波的電場振盪情形

【橡實形管】(Acorn tube)

橡實形電子管是專為一米以下通信而設計製成，電極間距離甚短，引線儘量避免平行及延長，務求適應超短波的工作。此等電子管對檢波振盪及放大均能勝任。

【橡膠絕緣電纜】(Rubber-insulated cable)

輸送的電纜，外裹橡皮做絕緣體者。

【橡膠磁鐵】(Rubber magnet)

此種磁鐵不同於一般鐵質磁鐵加工之困難，它可以切斷做成種種形態以供應用，如能配合以鋼製黑板，使橡膠磁鐵吸附在黑板上，可做各

種實驗說明，在教學上效果很大。橡膠磁鐵之厚度以 6 *mm*爲宜，因其對鋼製黑板之附著力有其限度，故各部分應做輕一點。電動機、發電機的製造，利用橡膠磁鐵做磁極，通電流入轉子即爲電動機，若以帶輪拖轉它即成發電機。

【橋式全波整流器】(The full-wave bridge rectifier)

橋式全波整流器爲一全波整流器，其優點超過普通變壓器中心抽頭的全波整流。

1. 電源變壓器高壓繞阻爲單組，即不需中心抽頭，因此變壓器的銅與鐵分量低。

2. 整流效率高。

3. 整流器所接受的最大反峯電壓低。

橋式全波整流器在應用上，通常二極管爲晶體二極管或金屬二極管，如用眞空管爲橋式全波整流，往往因眞空管燈絲功率消耗而必須增加變壓器輸入功率。

橋式全波整流器的連接如圖 16 — 26，二極管 A 與 B 頭尾串接，二極管 C 與 D 亦頭尾串接，然後兩支路並聯相接，ad 兩端爲直流輸出，即接負載，bc 爲 AC 輸入端。

當變壓器次級 AC 電壓爲正時，如圖 16 — 26(*b*)，電流循二極管 A →負載 R_L →二極管 D，整流工作爲一半波整流。

當變壓器次級 AC 電壓 E 爲負時，導電方向如 16 — 26 (*c*)，亦係半波整流，因兩支半波整流電路相互導電結果，每一半週通過負載 R_L 之電流爲同一方向。故在 R_L 的電壓，爲全波整流輸出。

又從兩支路導電情形看，橋式全波整流與普通全波整流不同之點，橋式在每一半週導電中，電流通過二極管爲兩只二極管串聯導電，因此每一二極所接受之最大反峯電壓爲普通全波整流器的一半。

其負載電壓及負載電流爲全波電路，故

$$E_{dc} = \frac{2}{\pi} E_m = \frac{2\sqrt{2E}}{\pi} = 0.636 E_m = 0.90E$$

$$I_{dc} = \frac{2}{\pi} I_m = \frac{2E_m}{\pi R_L} = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi R_L} = 0.636\ I_m$$

$$= 0.90I$$

因此其紋波因數與全波整流相同

$$E_r = 0.307E_m$$

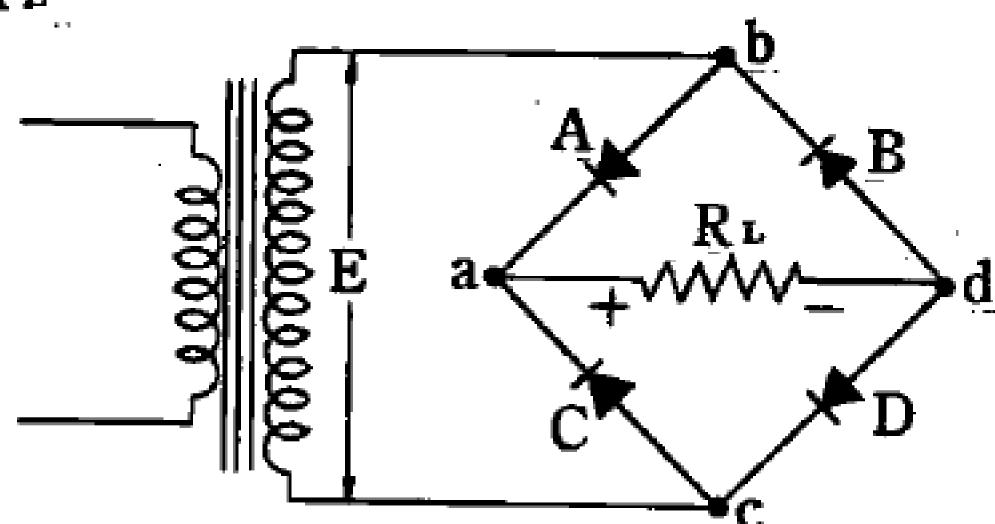
$$= 0.434E$$

紋波因數＝0.482

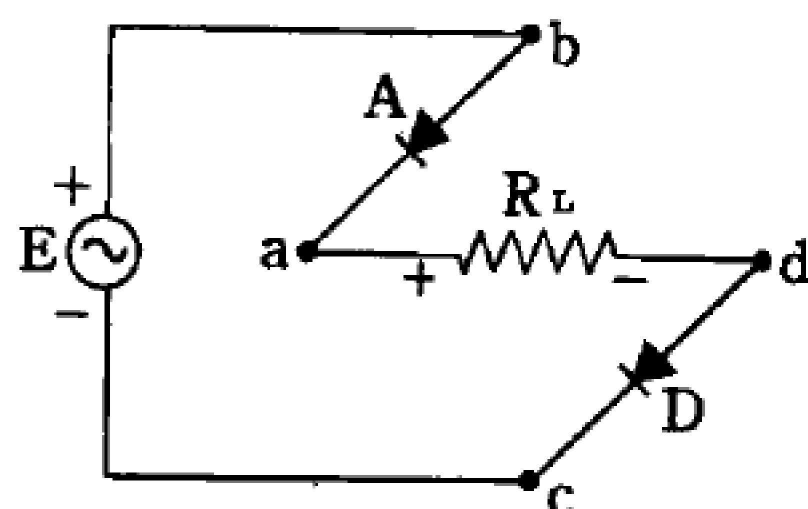
整流比＝0.812

在橋式全波整流中，變壓器次級繞阻電流與電壓係純交替互換，因此不必考慮直流流入變壓器問題，故其變壓器利用率與全波整流相同。

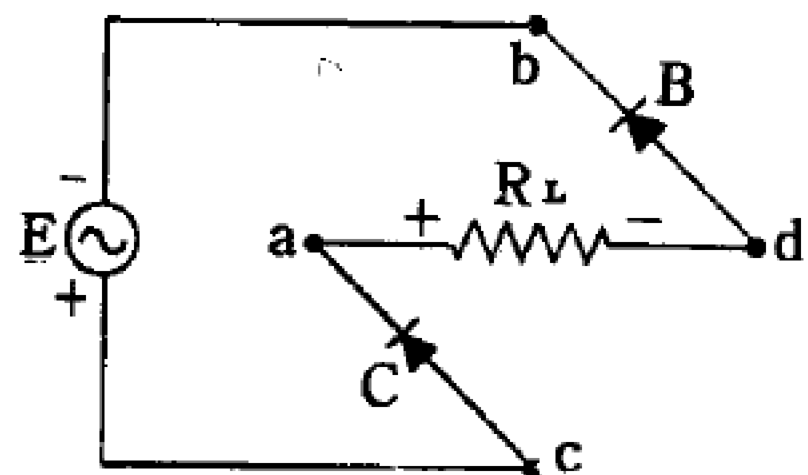
變壓利用率＝0.812



(a)基本電路



(b)二極晶體爲正時電流通徑



(c)二極晶體爲負時之電流通徑

圖 16—26　橋式全波整流

現假設　$r = R_L$

則　$E_{RL} = \frac{E_m}{2}$

$r \ll R_L$　　則 $E_{RL} = E_m \frac{R_L}{r + R_L} \doteq E_m$

因負載電阻 R_L 實則爲 E_{dc} / I_{dc} 之比。如負載電流在全負載 (*full load*) ，R_L 值必將低落，於是可能 $r \gg R_L$ ，則

$$E_{RL} = E_m \frac{R_L}{r + R_L} = E_m \times 0 = 0$$

故 AC 電壓 E_m 全部作用二極管兩端，其屏消耗將超過額定值，其產生熱量足使二極管破壞。因此欲使最大輸出，R_L 必須極大於 r_0 。即

欲使高電流供給負載，應選擇二極管內阻愈小愈爲良好。

【橋式電路】(Bridge circuit)

和測量用電橋電路相似的電路，用來調節電壓或功率，例如在自動增益控制電路中用以取得電壓，在交流電路中作相位旋轉等。

【橋式整流電路】(Bridge rectifier circuit)

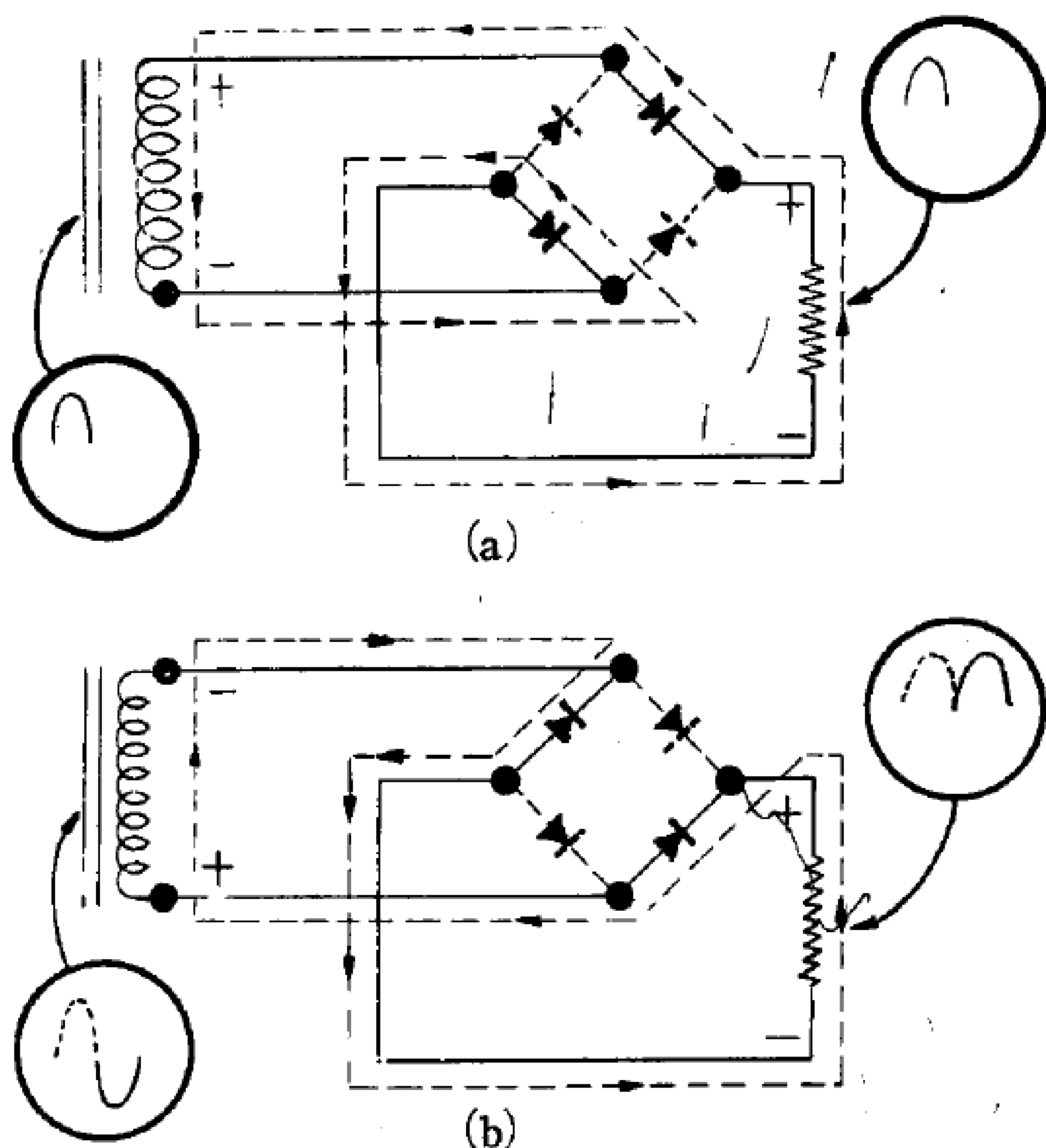


圖 16 — 27

橋式整流電路爲一全部整流電路，可變交流電壓爲較高直流電壓。

四個金屬整流器將輸入交流電和負載連接在一起，如圖 16 — 29 所示。當交流輸入電壓向正擺動時，電流由輸入的一邊，經一個金屬整流器、負載，再經另一個金屬整流器，流至輸入的另一邊。當交流輸入電壓向負擺動時，電流流經另一對金屬整流器和負載。在這輸入電壓正和負的半週時，經過負載的電流方向相同。所以可在負載上產生脈衝直流電壓，與別的整流電路輸出的脈衝直流電一樣，可加濾波。

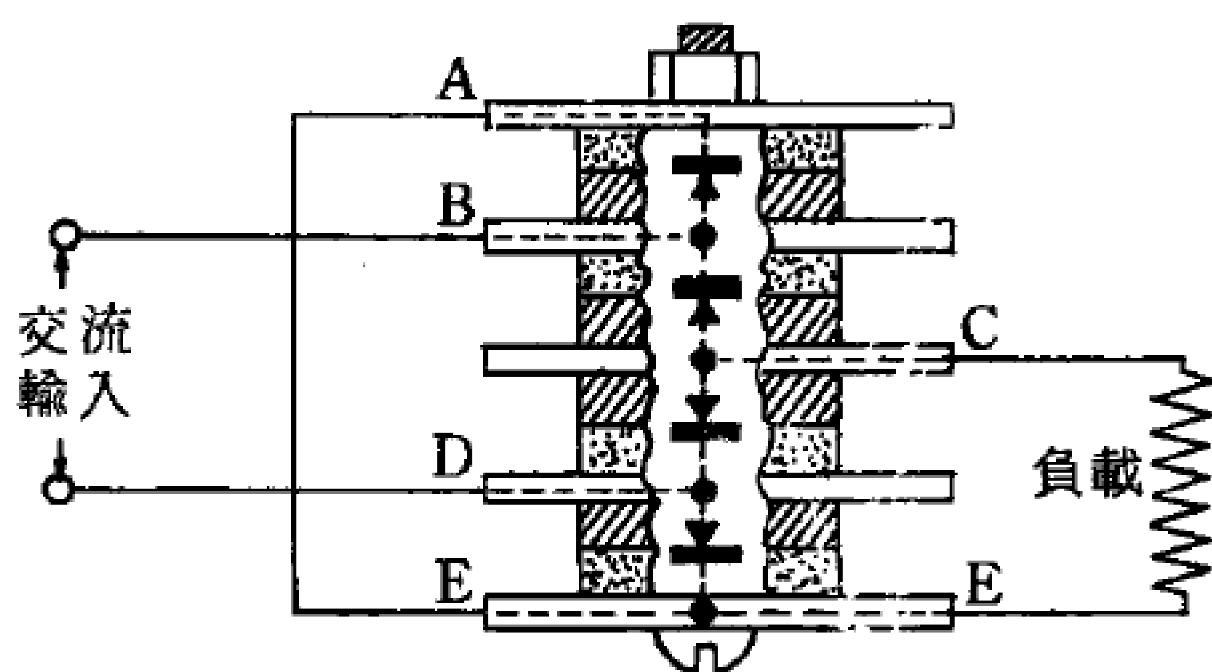


圖 16 — 28

在實際的橋式整流電路中，

四個金屬整流器連接成一個整體，由外面聯成橋式電路。

圖16—28所示，爲整流器實際連接轉變成電路概略圖，你可想像把外面的二個整流器轉動，如圖16—29所示。

參閱“橋式全波整流器（*The full-wave bridge rectifier*）”條。

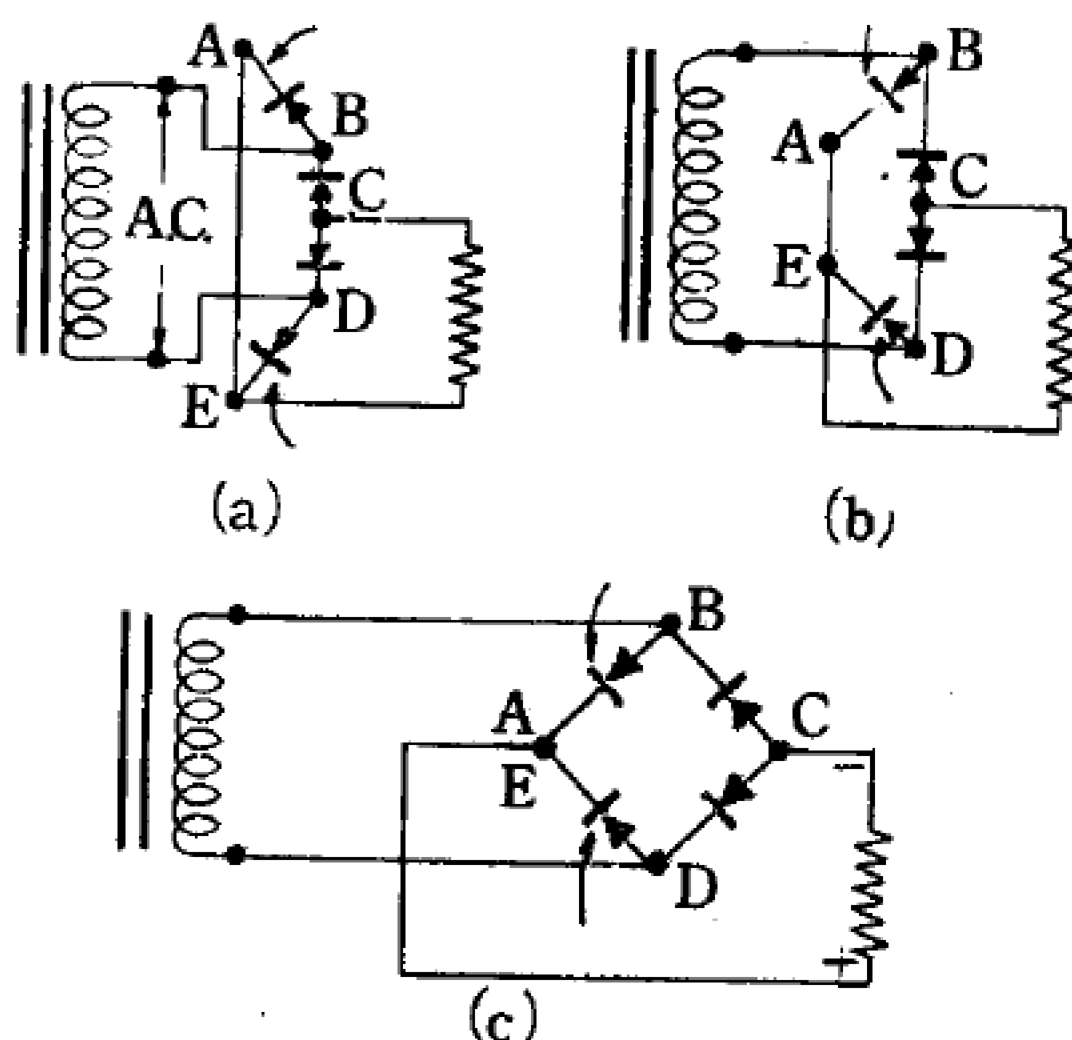


圖16—29　橋式整流電路概略圖

【機內天線】（Built-in antenna）

廣播接收機或電視機，其天線爲環狀或由金屬片所構成者，裝配於機內。

【機身】（Chassis）

裝置接收機或發射機的金屬框。

【機械之熱當量】（Mechanical thermal equivalent）

每當產生熱量時，所作之機械功，恆與熱量成一定之比例，即427米仟克之功與1仟卡熱量之比，此一比數指出1仟卡之熱量相當於多少米仟克之功的一種當量（*equivalent*），而機械功是以米仟克來量度的。此種當量稱之爲機械之熱當量。

【機械共振】（Mechanical resonance）

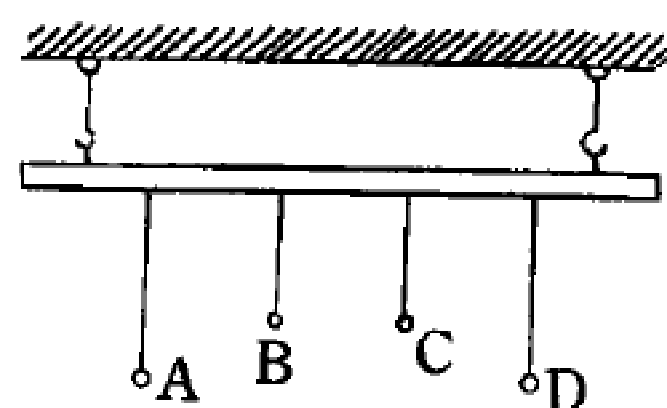


圖16—30

如圖16—30懸A、B、C、D四擺於可動橫桿上，其中A、D與C、B之擺長分別相等。當推開擺A，使之振動後，與之等長的擺D亦可隨之振動。另二較短的B、C二擺，則幾乎完全不動。數秒後，原來振動的擺A停止擺動，將其動能傳於擺D；此時D擺振幅最大，而變成供能

之源，且漸將動能反輸於擺 A 使再擺動……如此二擺往復交換能量，直至其總能因摩擦阻力而消失時，方完全停止。

若令 B 振動，則 C 受其影響而共振；A、D 則否。此種因週期相同而互相響應的振動即共振。

【機械利益】（Mechanical advantage）

機械雖然絕對不能省功，但可以省力。使機械作功之力稱為施力；反抗機械作功之力稱為阻力。機械的作用，就在使很小的施力和很大的阻力平衡，阻力和施力的比稱為機械利益。

即
$$\text{機械利益}=\frac{\text{阻力}}{\text{施力}}$$

當

機械利益＞1時，省力費時。省力的機械，機械利益必大於1。

機械利益＝1時，不省力、不費力。

機械利益＜1時，費力省時。

槓桿的機械利益 $=\frac{\text{阻力}}{\text{施力}}=\frac{\text{施力臂}}{\text{阻力臂}}$，第一種槓桿（支點在中間）的施力臂若大於阻力臂則其機械利益大於1，若小於阻力臂則其機械利益小於1；第二種槓桿（阻力點在中間）則其機械利益大於1；第三種槓桿（施力點在中間），其機械利益小於1。定滑輪不能省力，只可獲得作用力改變方向的便利。所以顯然地定滑輪的機械利益 $=\frac{\text{抗力}}{\text{阻力}}=1$。

【機械波】（Mechanical wave）

可變形或彈性的介質中之波，稱為機械波或力學波，如空氣中之聲波。此等波起於彈性介質之一部分從其正常位置之位移，致使該部分對平衡位置而振盪。由於介質的彈性性質，擾動從一層傳至鄰近之一層。介質本身並不隨波一起運動，介質的不同部分只在有限路徑上振盪。例如在水波中，漂浮之軟木塞顯示水之不同部分的實際運動，只是稍微上

下和前後運動，可是水波仍沿水面穩定移動。當遇及漂浮物時就帶動漂浮物而傳以能量。能量可以由波動傳至甚遠處。波之能量是物質的動能和位能，但能量之傳遞是由於能量從物質的一部分傳至次一部分，而不是由於物質本身之任何長程運動。機械波之特徵在於物體中之擾動使能量傳過該物質，而不涉及整個物質的運動。

欲傳遞機械波必須有物質介質，但傳遞電磁波則不需此種介質；例如，光能從星球自由通過近乎眞空之太空。決定介質中波之速率的物性是該介質的慣性和彈性。所有之物質介質，包括如空氣、水和鋼，皆擁有此等物性而能傳遞機械波。彈性能產生回復力，施於介質中任何被移開平衡位置之部分；慣性能顯示被移開之部分對此回復力有何反應，此兩種因素決定波的速率。

【機械能】(Mechanical energy)

守恆的動力系統和位能的和稱爲該系統的機械能。此能係以動能和位能的形式存在著。系統動能和位能均可互換，但其總和保持一定。如高處重物落下時可以作功，藉繩索和滑輪的傳動，可把帶著負荷的籠子從豎坑底下提升地面。在這種情形，它們的位能就轉換成這項負荷的位能。

如不計因摩擦而損失的能量，則任何含有機械利益爲 n 的滑輪組，都可利用重力（或拉力）把相當於它 n 倍重的負荷擧高 1／n 的距離。所以位能的定義就是重量和它從某一起點平面算起的高度的乘積。令 w 表物體的重量，h 表該物體從起點平面算起的高度，則它的位能 E_P 爲：

$$E_P = wh$$

位能經常從某一起點平面算起的理由，是因爲一個物體除非落下到一較低平面，它就不會喪失位能而作功。

因物體的運動而具有的能量叫動能。如空氣的運動產生風；能轉動風車而作功。空氣在經過風葉之前，比由風葉的另一端流出時的運動來

得快。風損失了速率，所損失了的動能中大部分出現於風車所做的功上。同樣的水流經過水車俥葉而損失了速率：在蒸汽渦輪機中蒸汽壓力用來產生一蒸汽流，蒸汽流損失了動能而產生蒸汽機所作之功。水從發電廠的大水管衝下時，它的位能首先轉換成動能，驅動水渦輪機而再轉換成機械功，更進而驅動發電機轉子，因此產生電能。質量為m的物體以速度v運動，應有的動能：

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

上式表示一項作功能力的衡量方法。

非守恆系統的機械能，嚴格地說，並不存在。但由於機械能的觀念很有用，所以常將消耗性系統看成其機械能隨時間逐漸減少的系統。

【機械能不滅】（Conservation of mechanical energy）

一隔離體系內，即在體系外無能之接受，體系內無能之消耗時，動能與位能可互相轉換，若無摩擦等消耗時，其總和恆保持一定。

$$U + E_K = U' + E_K'$$

例如物體由h_1下降至h_2之高度時，其位能減少量$= mg(h_1 - h_2)$；

動能增加量$= \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2)$

但由$v_2^2 = v_1^2 + 2g(h_1 - h_2)$

得 $$g(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

或 $$mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) \qquad (1)$$

∴位能之減少量＝動能之增加量

同理如將物體上拋，亦可推出

位能之增加量＝動能之減少量

（1）式可改寫成

$$mgh_1 + \frac{1}{2} mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2} mv_2^2$$

即其總和能量不滅。

若具摩擦作用時，即有一部分機械能損失，而轉換成熱。視熱爲能量之另一種形式，則總能量仍保持一定。此謂之機械能不滅。

【機械效率】(Mechanical efficiency)

任何機械各部分間都難免有或大或小的摩擦。因之，加於機械的功，必因反抗摩擦而有損失。因之，機械所完成的功常比輸入的功爲少。兩者之比，叫做機械效率，通常以百分數表示，就是

$$機械效率=\frac{機械所完成的功}{輸入機械的功}\times 100\%$$

摩擦既然無法完全消失，所以一切機械的機械效率不會達到100%。

【機械振盪器】(Mechanical oscillator)

圖16—31(*a*)是一個簡單的彈簧擺（ *spring pendulum* ），在彈簧的下端懸有一個重物（*W*）。如果將重物（*W*）由靜止狀態向下拉，如圖16—31(*b*)所示，然後放鬆，彈簧就向上收縮，重物（*W*）也就向上運動，經過原來靜止狀態時的位置，成爲圖16—31(*c*)的位置。然後彈簧就上下往復振盪，一直到最初拉彈簧時所加的能量，被彈簧的摩擦而變爲熱爲止，彈簧也就不再振盪。當重物（*W*）從最初的位置（圖16—31(*a*)）經圖16—31(*b*)的位置，向上到圖16—31(*c*)的位置，再回到原來的位置，稱爲一週或振盪一次。頻率就是每秒的週數或振盪的次數。週期一週（或振盪一次）所需的時間，也就等於頻率分之一（ $1/f$ ）。無論最初拉重物(*W*)

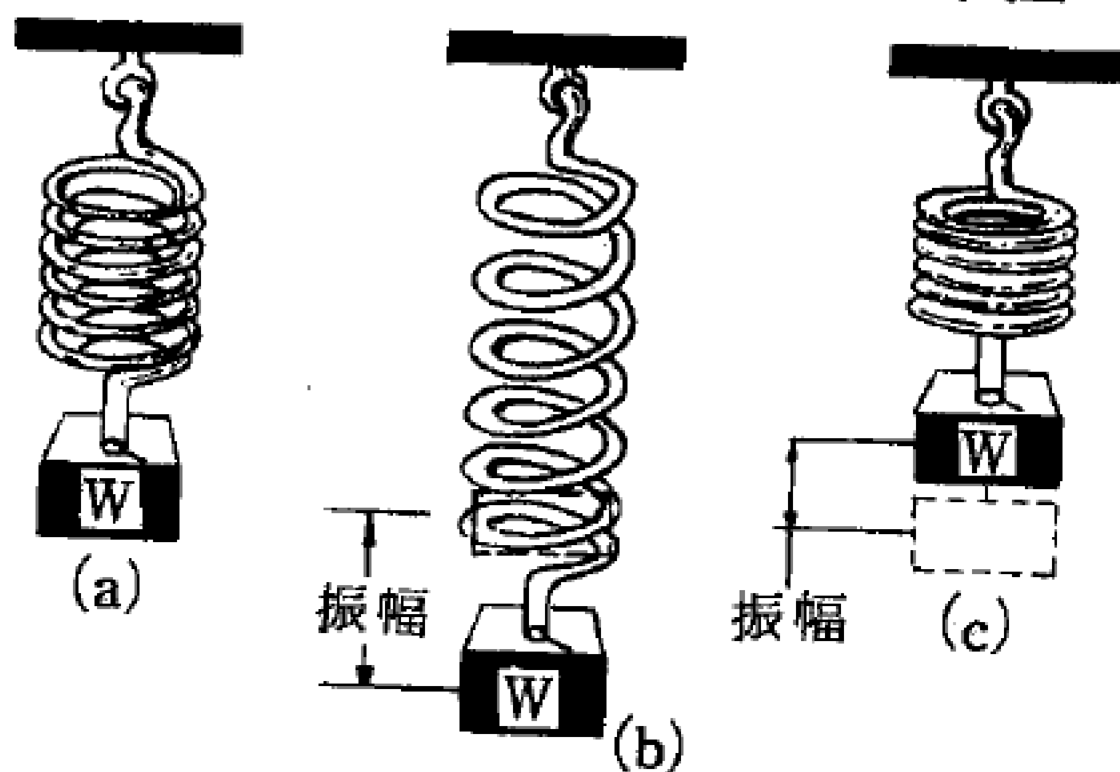


圖 16 — 31　簡單機械振盪器

時，使其移動距離有多大或多小，彈簧產生振盪後，每週所需的時間（週期）都完全一樣。

重物（*W*）由其靜止位置向下或向上所移動的最大距離，稱爲振幅。當振盪減弱，彈簧上下擺動之振幅也隨之減小，彈簧停止振動後，振幅則爲零。如果希望了解彈簧往復振動時，振幅變化的確實情形，可將一枝筆附在重物(*W*)上，然後將一個緩慢移動的紙帶，放在重物（*W*）旁邊，當彈簧振動時，筆就可將彈簧振動變化的情形留在紙上。圖16—32 就是振動的結果，縱軸表示彈簧振動的振幅，橫軸是表示時間，由圖可知，彈簧振動的振幅，由大而小，最後振幅是零，此種波形（圖 16—32 ）的振動，稱爲阻滯振盪（*damped oscillation*）。此種振幅由大而小，乃因部分能量在重物運動的過程中因摩擦變成熱，能量漸漸減少。

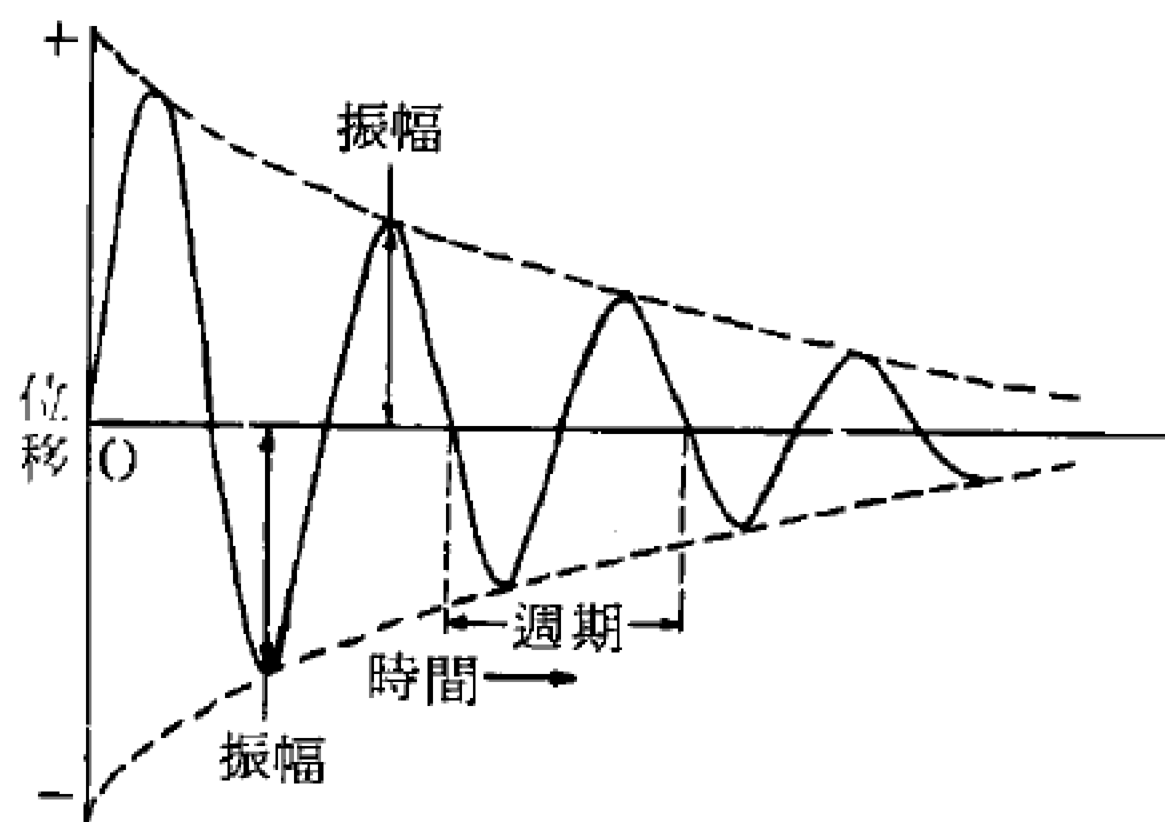


圖 16— 32 阻滯振盪的波形

假如彈簧下端所懸重物（*W*）的重量增加，振盪頻率則減小。相反的，重物（*W*）重量減小，振盪頻率加大。換句話說，振盪頻率與重物（*W*）的重量成反比。再者，如果彈簧的長度減短，振盪頻率就增大；彈簧長度增長，振盪頻率就減小，因此，彈簧的振盪頻率與彈簧的長度成反比。彈性良好的彈簧，振盪頻率低；不良彈性的，其振盪頻率高，因此也可以說，振盪頻率與彈簧的彈性成反比。

由對彈簧振盪頻率的觀察及討論，可歸納成一個通則，此通則，對於機械的及電能的振盪器都適用。任何振盪系統均包含彈性及慣性兩種要素，二者以一定頻率蓄存或放出能量，其頻率與慣性、彈性的大小強弱有關。任何一個振盪系統，都有慣性及彈性存在，可能僅僅是所表現

的形式不同而已。如果在振盪器上加一個脈衝，同樣會產生如圖 16—32波形的阻滯振盪。

很多振盪器，如錶的擺輪及無線電用的射頻產生器等，都必需能產生繼續不斷的無阻滯振盪（見圖 16—33）。彈簧擺也可產生此種無阻滯振盪，只要當重物（*W*）每次到達最低位置時，就立即拉重物（*W*）一下，所拉的力必需恰可克服彈簧的摩擦力，如此就可得到無阻滯振盪。如果希望彈簧能自動作無阻滯振盪的話，必需在振盪系統中，加一個同步觸發器（*synchronous trigger*），以供給彈簧擺機械能，使其作無阻滯振盪。一般而言，為了維持振盪器產生無阻滯振盪，此種外加能量的方法，對任何一種方式的振盪器，都是不可缺少的。最好的例子就是錶或鐘，此種機械式振盪器的擺輪及游絲，就是振盪系統中，慣性及彈性的具體表示。鐘或錶的發條（鍊），就是振盪系統的能源。發條在擺輪每次振盪的適當時間內，將能量傳送給擺輪，使其維持繼續的穩定運動。產生連續無阻滯振盪的電能振盪器，所具的因素與機械振盪器完全相同。

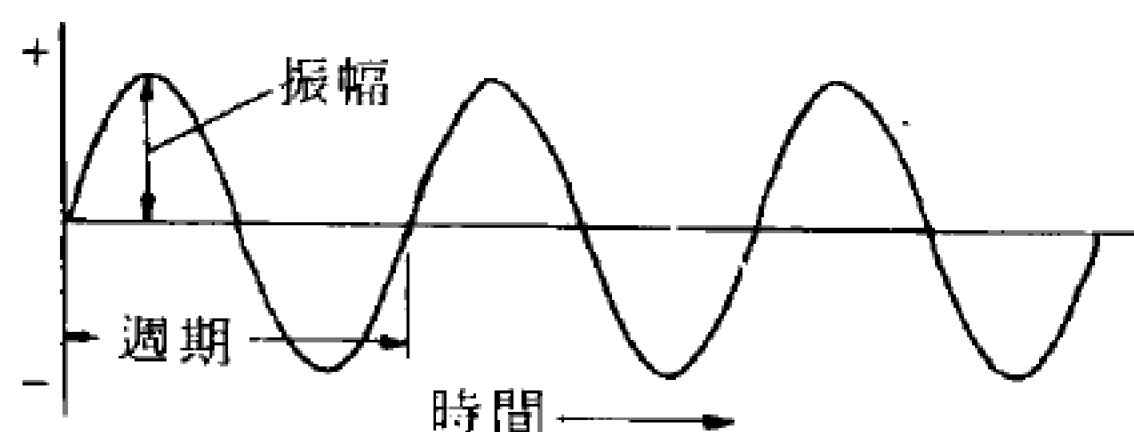


圖 16—33 無阻滯振盪波形

【機械電視】（Television by mechanical methods）

利用活動機械來實現影像掃描的電視。在電視發展的初期，影像的掃描和複合都是利用活動機械來實現的，其中重要的是一個帶有若干小孔的不透明圓盤，小孔按螺旋線排列，彼此間的角度距離相等，並且各孔一個比一個更接近圓心，其徑向距離等於小孔的直徑。

小孔的數目決定了分解的行數。幀的高度等於全部小孔直徑的總和，而寬度則等於兩個相鄰小孔之間的距離。

欲發送的影像投影到旋轉著的圓盤上（影像的尺寸決定於限制框的

大小）。在圓盤後面裝有一個光電管，光線由各個單獨像點穿個小孔投射到光電管上，光電管便將各個單獨像點轉變成電的信號。影像的複合也是利用這種圓盤來進行，這個圓盤安裝在氖管和視者之間，並且與發射機的圓盤作同步與同相的旋轉。

氖管所發出的光為一矩形，其強弱則隨輸入信號所控制的電源電壓而變化。結果便在圓盤上獲得連續的影像，像中光亮部分與昏暗部分的排列位置與透過發射機圓盤而觀看發射影像時在發射機圓盤上所得影像相同。

各圓盤的旋轉是利用同步電動機來帶動的，為了保持各盤作同步與同相的旋轉，除了影像信號以外，還發送專門的同步信號。

機械電視的缺點在於光線不能有效地利用，這是由於不可能採用電荷蓄積原理的緣故，此原理在現代電視中有決定意義的作用。

此外，很難獲得比火柴匣更大的影像；而為了增大影像而在系統中加裝各種複雜裝置（例如在製造中利用鏡面螺旋）又都不能解決關於影像質量的基本問題。所以機械電視目前已完全被電子電視淘汰了。

【機械語言】（**Machine language**）

人們如欲利用計算機教導自己，必須要能轉換計算機的語言。否則，便需藉助於轉換的媒介語。因而在計算機的結構中，有一各種媒介語的寄生所，一般稱之為編譯器（*compiler*）。關於媒介的語言，有很多種。例如阿爾遮語（*ALGY*）、奧高語（*ALGOL*）、柯保爾語（*COBOL*）、法克特語（*FACT*）、佛羅瑪提克語（*FLOWMATIC*）、複傳語（*FORTRAN*）、印特卡姆語（*INTERCOM*）、伊特語（*IT*）、佐衛爾語（*JOVIAL*）、羅格南語（*LOVIAL*）、麥德語（*MAD*）、派司語（*PICE*）、普羅南語（*PROLAN*）等等。在程式設計員的才能中，必須具有此種語言能力。

其中一種語言名為奧高語者，本義為計算程序語言（*Algorith* -

mic Oriented Language)，較爲流暢，因係代數和算術的符號所組成。另有一種將各種常用的商業用語，加以調節而組成者，名爲普通商業語言（*Common Business Oriented Language*），簡稱爲柯保爾。用柯保爾語作爲交換的媒介；速度很快，錯誤的可能性也很少。用柯保爾語與其轉換的機械語言，加以比較，即可顯示其效能所在。下列爲一早期的機械語言的樣本，內容係對計算機有所指示者：

06000	$\overline{?}$	12048	12047	06096	$\overline{,}$	12042	
06011	$\overline{,}$	12040		06102	$\overline{?}$	12017	12046
06017	$\overline{?}$	12007	12043	06113	$\overline{@}$	12013	12047
06028	$\overline{@}$	12002	12047	06124	$\overline{\ }$	12042	
06039	$\overline{C}$	12047	12049	06130	$\overline{?}$	12047	12022
06050	$\overline{J}$	06068	*U*	06141	$\overline{,}$	12043	
06057	$\overline{A}$	12050	12046	06147	$\overline{?}$	12012	12047
06068	$\overline{\ }$	12040		06158	$\overline{S}$	12022	12047
06074	$\overline{?}$	12046	12012	06169	$\overline{\ }$	12043	
06085	$\overline{?}$	12048	12047	06175	$\overline{?}$	12047	12027

將上列機械語言的指示，轉換爲柯保爾語則如下：

SUBTRACT QUANTITY-SOLD FROM BALANCE-ON-HAND. IF BALANCE-ON-HAND IS NOT LESS THAN REORDER-LEVEL THEN GO TO BALANCE-OK ELSE COMPUTE QUANTITY-TO-BUY TOTAL-SALES-3-MOS13.

雖然計算機需有媒介語，仍有些事例，足以證明能直接使用我們人類的語言，而爲我們工作。此類事例之一，如其曾爲我們編製聖經索引，將其中主要的字句，出現次數和所在的位置，編列爲一清册。計算機也曾對安諾德（*Mathew Arnold*）的詩集，作同樣的工作，係康奈耳

大學巴力史教授（*Stephen Maxfield Parrish*）和其三位同事及兩位技術專家，共同爲艾必姆704型計算機所設計的程式。將安諾德詩集中常用的一萬多個名詞，按其字母順序，編列成表，並附有各字詞出現的次數與其索引。作業完成後，亦曾由計算機自行印製一本965頁的清册。死海集（*Dead sea Scrolls*）和安奎神父（*St. Thomas Aquinas*）的著作，亦曾由計算機分別編纂分析性的索引，和使用字詞的指數。

【機械調頻器】（**Mechanical frequency modulator**）

圖16—34所示係一簡單的頻率調制器，或稱爲機械調頻電路。有一電容器式送話器直接與一基本的哈特立（*Hartley*）振盪器的槽路相並聯。

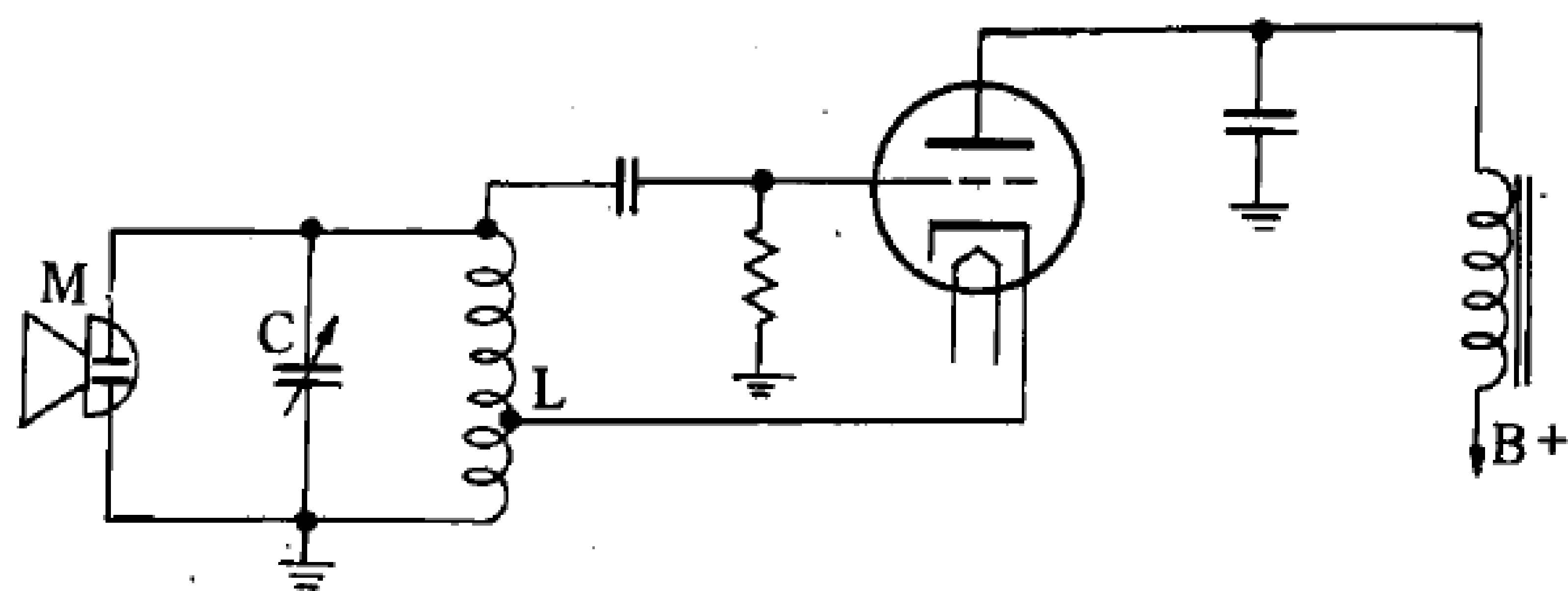


圖16—34　機械調頻電路

電容器式送話器的作用，如圖16—35所示。此電容器由一固定的金屬板及一薄膜片所組成。如有一聲波施入，可使薄膜片作左右的擺動。如果薄膜片向右擺，則使其與固定的金屬板間的距離減少，於是二片間的電容量增加。反之，當其向左擺動時，則電容量減少。可知當一聲波施於送話器時，會使送話器的電容量隨聲波作週期性的增減變化，且聲波愈強（即聲波的波幅愈大），則接線A與B兩端所輸出的電容量變化亦愈大，如圖16—

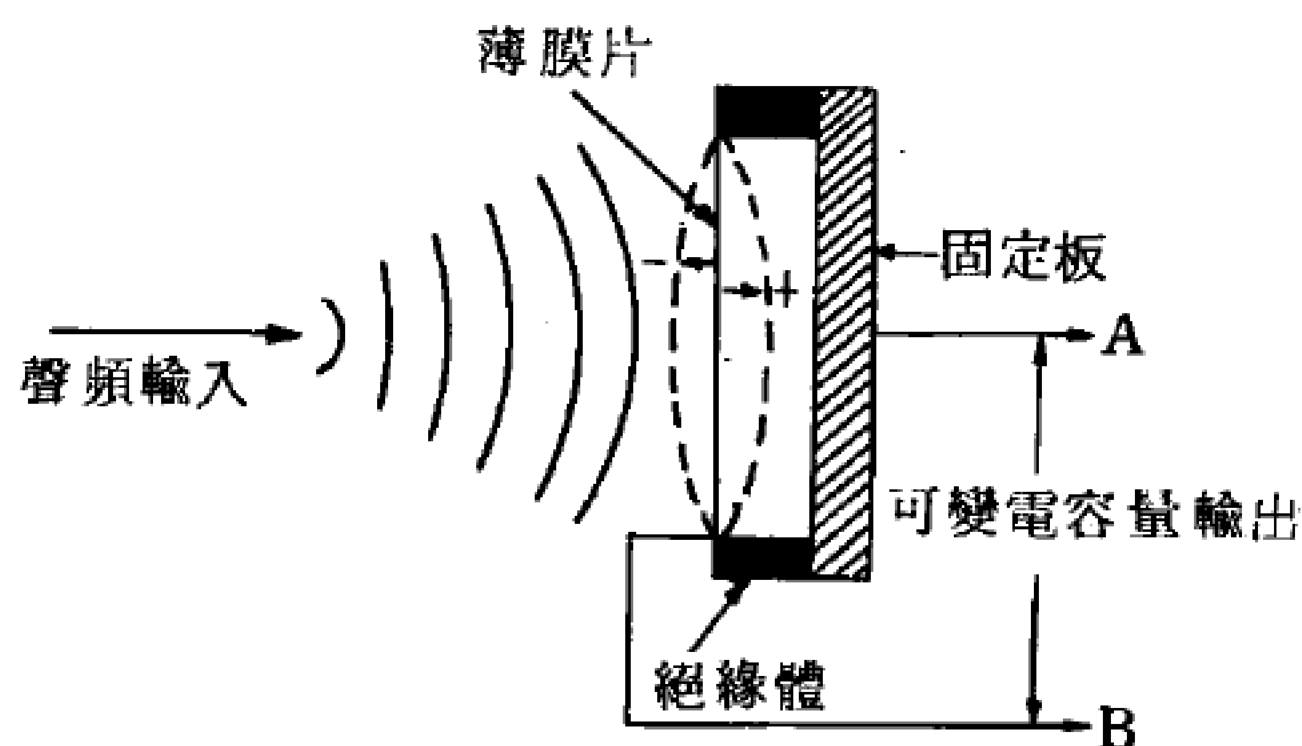


圖16—35　電容器式送話器的作用

36 所示。聲波的頻率，則決定薄膜片每秒擺動的次數。

電容器式送話器係並聯於振盪電路。當無聲波施於其上時，薄膜片在靜止位置，振盪電路的有效電容量（由電容器 C 與送話器的電容量並聯相加而得）與電感器 L 共同決定振盪頻率。由此所決定的頻率稱爲此電路的載波頻率（*carrier frequency*）。當有聲波施於送話器上時，因其電容量變化，導致電路的總容量亦變化，於是振盪器輸出的頻率亦有所變化。當有效總電容量增加時，振盪器輸出頻率減低，即小於載波頻率；反之，當有效總容量減少時振盪器輸出頻率增加，即大於載波頻率。今設一較弱的聲波（其波幅較小），若能使振盪器輸出頻率在載波頻率兩旁作 ± $2KHz$ 的變化，則一較強的聲波（其波幅較大），便使振盪器輸出頻率在載波頻率兩旁作較 ± $2KHz$ 爲大的變化。聲音愈響，亦即其波幅愈大，則所得的偏差量亦愈大，此即說明聲波的波幅對輸出頻率的影響。

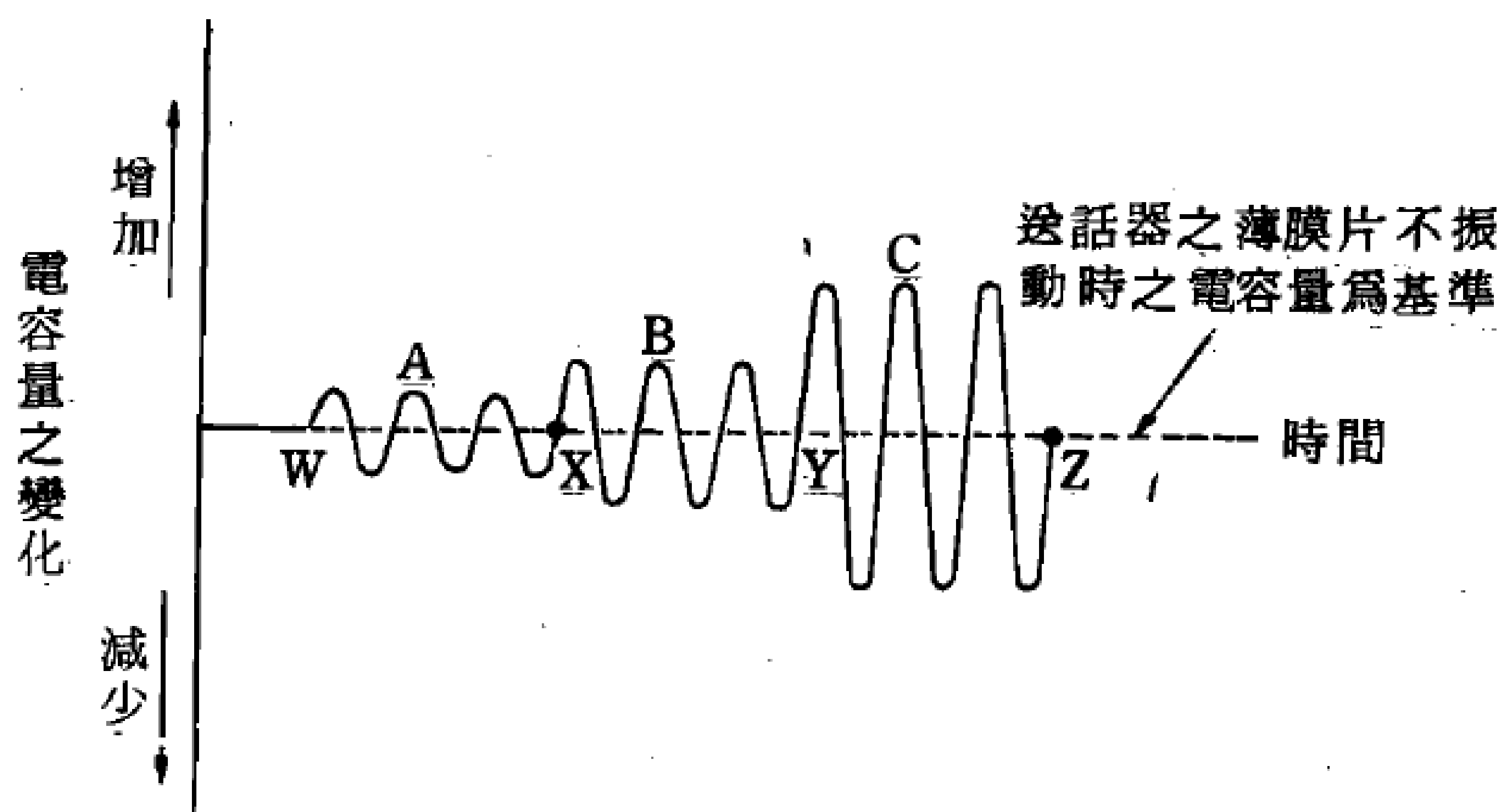


圖 16 — 36　送話器的電容量變化情形

此式機械調頻法，僅能應用電容器式送話器，其他型式的送話器則不能適用，爲其缺點。

【機械學上之黃金定則】（Golden rule in mechanics）

簡單機械作用力所提供之功，即投入於機械之功，和此機械在舉升負荷或克服任一形式之阻力時所作之功恰好相等；這也就是說，恰好等於重行付出之功。就任何簡單機械而言：作用力×作用力行程（作用力

之功）＝負荷×負荷行程（負荷之功）。因此在應用簡單機械時，既不能得功，亦不至於在功的方面有所損失，只不過將功轉變成同一數額之功而已。這種關係，我們稱之為機械學上之黃金定則。

又因為複雜的機械均係由簡單機械所組成的關係，上述定律遂能推廣如下：不論應用何種機械設備，倘不計摩擦時，則所付之功恆與所得之功相等。

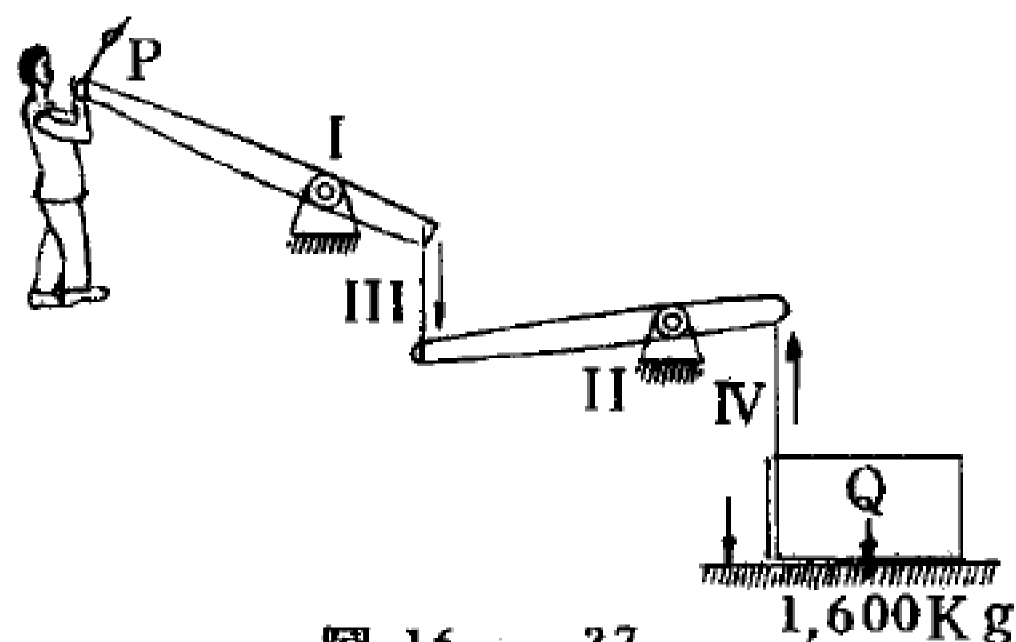


圖 16 — 37
應用機械學上之黃金定則計算所需之作用力。

機械只不過是工具而已，工具自身並不能產生新功。故機械雖能將功轉移，但功本身之大小並不會因此而有所改變。故機械學上之黃金定則亦稱為功常住定律，應用此定律可計算所需之作用力。如圖16－37所示，為一複雜之槓桿結構，由Ⅰ、Ⅱ兩槓桿以及Ⅲ、Ⅳ兩連桿所形成，我們要拿它來將一塊$Q=1,600$ 仟克重的石頭之一邊舉高6厘米。石頭的重心位於石頭之中心，而石頭的重量又可視作著力於其重心上，故石頭的重心只要舉升一半。若操作者需要將槓桿Ⅰ之末端舉高120厘米來完成此項工作，則負荷行程與作用力行程之比為3：120＝1：40；據此，作用力與負荷之比亦應為1：40，這也就是說，操作者需付出$P=40$仟克之力。

任何機械在操作中絕對不可能毫無摩擦；克服摩擦必須作功，而此項功不可能再還原為功，實為一種無益之消耗。因此，我們在操作機械時所需要的功和力，總要比理論計算之值略為大些。

以往都是根據簡單機械由力之比例（P：Q）導致功常住定律。反之，我們也可以先行假定此一定律係屬適用，再據此而導出力之比例。就大多數的情形而言，此種計算方法更為方便，因為我們只要量度機械兩

側的位移即行。此項位移係與相屬之力互成反比；由作用力×作用力行程＝負荷×負荷行程可以得到作用力：負荷＝負荷行程：作用力行程。

討論簡單機械時，都附有條件，即摩擦可略而不計，又所有運動均為等速的，或都進行得非常緩慢，以致無顯著之加速度可言。現倘將有關運動方式之條件予以揚棄，則以往之結論必須加以修正而後可。茲設以等臂之雙臂槓桿舉升50 仟克之一負荷時，並非慢慢進行，而是使此負荷突然躍起，則結果所需之力顯然要比50 仟克大得很多，因所用之力不僅須要克服重量，並且還要克服物體突然進入運動狀態的慣性質量，故結果勢非為加速度增加額外之功不可。

【機率】（Probability）

機率的觀念是代表我們的一種猜測，而所以要猜測，是因為我們對某件不確定的事要下判斷，作決定的緣故。例如擲一銅幣，作許多次投擲後，結果兩面朝上的次數幾乎會相等，這就是說“銅幣人頭朝上的機率是$\frac{1}{2}$”。假定我們連續拋擲N次，定義N_A為這N次重複發生的事件當中，演變成某一特定結果A的最可能次數，則這個特定結果A會發生的機率為$P(A)$，而$P(A)=N_A/N$。此結果，並不是說在這事件重複發生的N次當中一定有N_A次，結果會演變成A的情況，連一次都不差。事實上，N_A只不過是一個最可能、最合理，而又最接近事實的一個數目。推廣之，假如一件事結果都可能演變成m種機會相等的情況，則其中任何一種情況發生的機率都應該一樣的，其特定情況A的或然率為$P(A)=1/m$。

當我們用一束能量很大的質點，射擊一片很薄的物質時，若在這片物質裏有n個原子，每個原子核的截面積都是σ，則在這片物質裏，被原子核所遮蔽到的總面積是$n\sigma$，又假設在N次隨意的射擊中，有N_C次質點正好擊中一個原子核而被反彈回來，則$N_C/N=n\sigma/A$（A是這片物質整片的截面積）。所以說在射擊時，某一個質點會撞到原

子核的機率爲$P_c = n\sigma / A$。

【機率振幅】(Probability amplitude)

簡稱機率幅，是利用光學干涉現象，認爲光爲光子的流動，而陪伴者有波動現象中的振幅，此振幅就像是機率振幅一樣，振幅的平方（稱爲波強度）代表測光量子在某處的機率。量子力學借用此種觀念，認爲每一粒子伴有德布洛利的物質波(*De Broglie's matter wave*)。此物質波的波函數$\psi(\vec{r}, t)$代表機率振幅，而波函數的絕對值平方$|\psi(\vec{r}, t)|^2$則表示測量此粒子在某處的機率密度。通常，在不同的地方、不同的時間發現粒子的振幅是隨著位置及時間而變的。此種很自然的比喻，在量子力學稱爲統計的詮釋(*statistical interpretation*)，成爲量子力學中的基本假設之一。

一般說，一事件發生的機率就是機率振幅絕對值的平方，如果一事件有幾種可能發生的不同方式，那麼此事件的機率振幅就是這種方式分別考慮時機率振幅的和。此時有干涉現象。

【機率密度】(Probability density)

在量子力學(*Quantum mechanics*)中，利用波函數(*wave function*)描述粒子的狀態。由於波函數成爲波包(*wave packet*)的形狀，因此，物質波(*matter wave*)在空間中散佈在某範圍內，要量度粒子的準確位置時，就要考慮機率問題。

機率的大小是根據薛丁格(*Schrödinger*)波動方程式的解$\psi(\vec{r}, t)$所描述，機率密度定義爲波函數絕對值的平方$|\psi(\vec{r}, t)|^2$，發現粒子在$(\vec{r}, t)$處dV體積內的機率爲$|\psi(\vec{r}, t)|^2 dV$。這是量子力學的統計詮釋，爲量子力學的基本假設之一。因爲$\psi(\vec{r}, t)$代表某波包，其絕對值平方對空間的積分應是有限值，因此可以將之歸一化，即

$$\int |\psi(\vec{r}, t)|^2 d^3 r = 1$$

此式表示在整個空間中必會發現此粒子，即是機率爲一。

以$P(\vec{r},t)$代表$|\psi(\vec{r},t)|^2$，由革忍定理可得

$$\frac{\partial}{\partial t}\int P(\vec{r},t)\,d^3r=\frac{i\hbar}{2m}\int_A\left[\psi^*(\vec{r},t)\nabla\psi(\vec{r},t)-(\nabla\psi^*(\vec{r},t)\psi(\vec{r},t)\right]_n dA$$

上式右端是對界面A積分，n代表界面的法線方向。茲定義向量$\vec{S}(\vec{r},t)$爲

$$\vec{S}(\vec{r},t)=\frac{\hbar}{2im}\left[\psi^*\nabla\psi-\psi\nabla\psi^*\right]$$

則上式化爲

$$\frac{\partial}{\partial t}\int P(\vec{r},t)\,d^3r=-\int\nabla\cdot\vec{S}\,d^3r=-\int_A\vec{S}_n\cdot d\vec{A}$$

將此式寫成微分形式，則爲

$$\frac{\partial P(\vec{r},t)}{\partial t}+\nabla\cdot\vec{S}(\vec{r},t)=0$$

這是連續性方程式在流體中表示流量不變性，因此$\vec{S}(\vec{r},t)$稱爲機率流量密度，也可以寫成

$$\vec{S}(\vec{r},t)=Re\left(\psi^*\frac{\hbar}{im}\nabla\psi\right)$$

$Re\left(\psi^*\frac{\hbar}{im}\nabla\psi\right)$表示括號中之量的實數部分。

【機器】(Machine)

利用機械能完成作功的裝置叫做機器。爲製造工業製品的工具，普通採用電動機爲動力之源。

【濃化材料】(Enriched material)

以人工方法增加其中某種同位素含量的材料，其百分比含量較自然界發現者爲高。濃化鈾之可分裂同位素鈾－235之百分比含量較天然鈾（0.7％）要高。

【激子】(Excitons)

被激發的粒子，甚至激發狀態的原子或離子，都可以稱作激子（雖然並不普遍通用）。所以激子一般的意義解釋都很模糊。在半導體或絕緣體中，一電子自價帶被激發至傳導帶（如圖16－38），於是在價帶中遺一空位，所以一電子的激發實際上等於產生一"電子、電洞"對，這被激發的電子，或因激發電子所產生的電洞，常稱爲激子。有時將結合電子、電洞對亦稱激子。

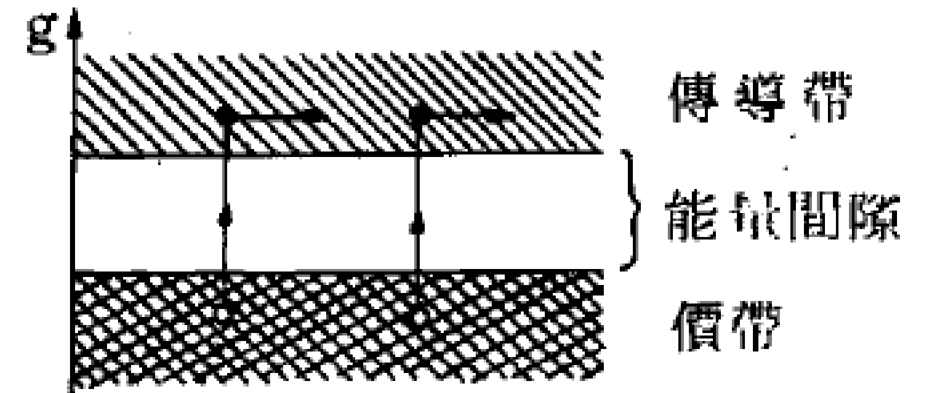


圖 16 — 38

而其最完善的解釋如下：一種激發在晶體中可以如波一般傳遞，由量子力學觀點而言，激發也像波一樣被量子化，量子化的結果，激發可以看成若干粒子而稱作激子，激發的傳遞便是激子的運動。以應用物理學家的觀點而言，一激子可以解釋爲一結合的電子與電洞，此乃因爲電洞可視爲一與電子性質相同但電荷相反的粒子，電子與電洞可像氫原子般形成一結合對，這一結合對的移動便如激子的移動，將激發自晶體之一處傳至他處。另一應用觀點則將激子看成在晶體中原子的激發狀態，而這一激發狀態自一原子傳至另一原子（在離子晶體中，則係一離子激發狀態的傳遞），這種看法便相當複雜而少有實用性。

【激活陰極】(Activation cathode)

一般經專門處理的電子管陰極。與普通的純金屬陰極相比較，這種陰極在較低的溫度時，（亦即在較小的燈絲電流和較小的功率損耗時）能夠發出足夠多的電子。激活陰極便是這樣作成的，即在陰極上塗以很薄的釷層或鹼土金屬的氧化物（氧化鋇、氧化鍶等）。塗了釷層的陰極叫做敷釷陰極，塗了鹼土金屬氧化物的陰極叫做敷氧化物陰極。激活陰極對於過熱是很敏感的，如果電子管的燈絲電流超過了正常值，陰極表

面便要受到破壞，而失去了發射較多電子數的能力。

【激活體】(Activator)

固體往往可將其他能量轉變成輻射能而發光。一般固體發光的效率很低，若加入少量某種特別的不純質，可能提高該固體發光的效率。如在氯化鉀 (*KCl*) 中加入約 0.01 %的鉈 (*Tl*) 元素，這種能提高固體發光效率的不純質稱爲激活體。一般的結晶狀發光固體 (稱磷光體) 的激活體可用二價的錳 (*Mn*) 元素或用鉈亦可。二價錳對許多晶體是有效的激活素，大量用於螢光燈及示波器的顯影幕，有很大的用途。

【激動速度】(Tropic velocity)

當月球接近其極大赤緯時發生之較大漲潮或退潮之潮汐速度。

【激發能】(Excitation energy)

核子、原子或分子由基態正常狀態轉變爲受激狀態時所需的能量。

【激發態】(Excited states)

詳閱"受激態 (*Excited states*) "條。

【激發管】(Excitron)

由柵極控制之整流管，稱爲激發管。

【激磁機】(Exciter)

指發射機的主控振盪器，或指放大器中用來推動末級功率放大的前置級，亦常稱激器。

【激勵】(Excitation)

電子管輸出之信號電壓加在另一管之控制電極上。

【激勵電力】(Excited power)

如發射管 801 擔任 *C* 類放大時，輸入電路消耗的激勵電力約 4 瓦。

【燐光】(Phosphorescence)

亦稱磷光。在電磁譜的可見範圍內，由於輻射之吸收與發射，在一物質內產生發光的現象。

取硫酸鈣$CaSO_4$或硫酸鍶$SrSO_4$，曝於日光下，片刻後移至暗處，則見其能自行發光。凡此曝之日光或他種光後，所能自發之光，稱爲燐光。因物體受光，吸收能量，蓄於體內而復行輻射。若吸收與發射之落後時間小於10^{-8} 秒時，此現象稱爲螢光（*fluorescence*）。

在射線停止照射很久以後，發光體仍可於較長期間，繼續發射不易折射的光線。由於燐燃燒時，恆有此一現象發生，所以我們便稱呼此一現象爲發燐光。但這只是一種附隨現象，與燐燃燒時其本身所發之光並無關聯。例如當硫化鋇、硫化鈣或硫化鋅被照射時，亦能發生此一現象。輻射之光波，與原入射光波之長，不必一致。太陽光譜中，善起燐光作用爲靛以下之部分，卽波長甚短、富於化學作用之光波。進一步研究發現螢光和燐光是不能截然分開的，因爲任何物質的這種發光並不絕對地隨著照射的去掉而立刻停止。它們都會或長或短地延續一段時間。

參閱“螢光（*Fluorescence*）”條。

【燐光體】（Phosphor）

含有發光特性的物質，用光照射後會發出微弱的光，在停止照射很久以後，還能發射不易折射光線的物體，我們稱爲燐光體。

詳閱“磷光體（*Phosphor*）”條。

【燐點螢幕】（Phosphor dots screen）

彩色電視接收機，彩色管之燐點螢幕是由許多燐點鑲在幕上而成，幕上燐點由數十萬至百萬，按照規定型式點成的。

【燈】（Lamp）

圖16—39示四種近代的燈。

圖(*a*)爲保險燈，燈心爲圓形，發火部分同空氣接觸面很大，容易燃燒，又加上一個玻璃罩子，使得空氣流通得快，而且燈光穩定，沒有跳動。如圖(*b*)煤氣燈上用白熱紗罩，也是一個重要的發明。在燈裏，空氣同煤氣混合起來燃燒，火力極高，使紗罩發出白光。圖(*c*)是一個電弧光

燈，用電流通過兩根不相連接的碳條。電流經過中間的空隙發出很強的火花，但是這中間的縫隙要保持相當的距離才能發出火花。如距離太遠，就不能發出。圖上有一調節桿，如距離太遠，電流就經過電磁，不將桿的下端吸起，碳條就可向下發生火花。圖(d)是一個探照燈，主要構造是把弧光燈放在一個拋物線形鏡子之前，把光反射出去，成爲平行線。前面再經過一面鏡子，就可發出很強的光來。

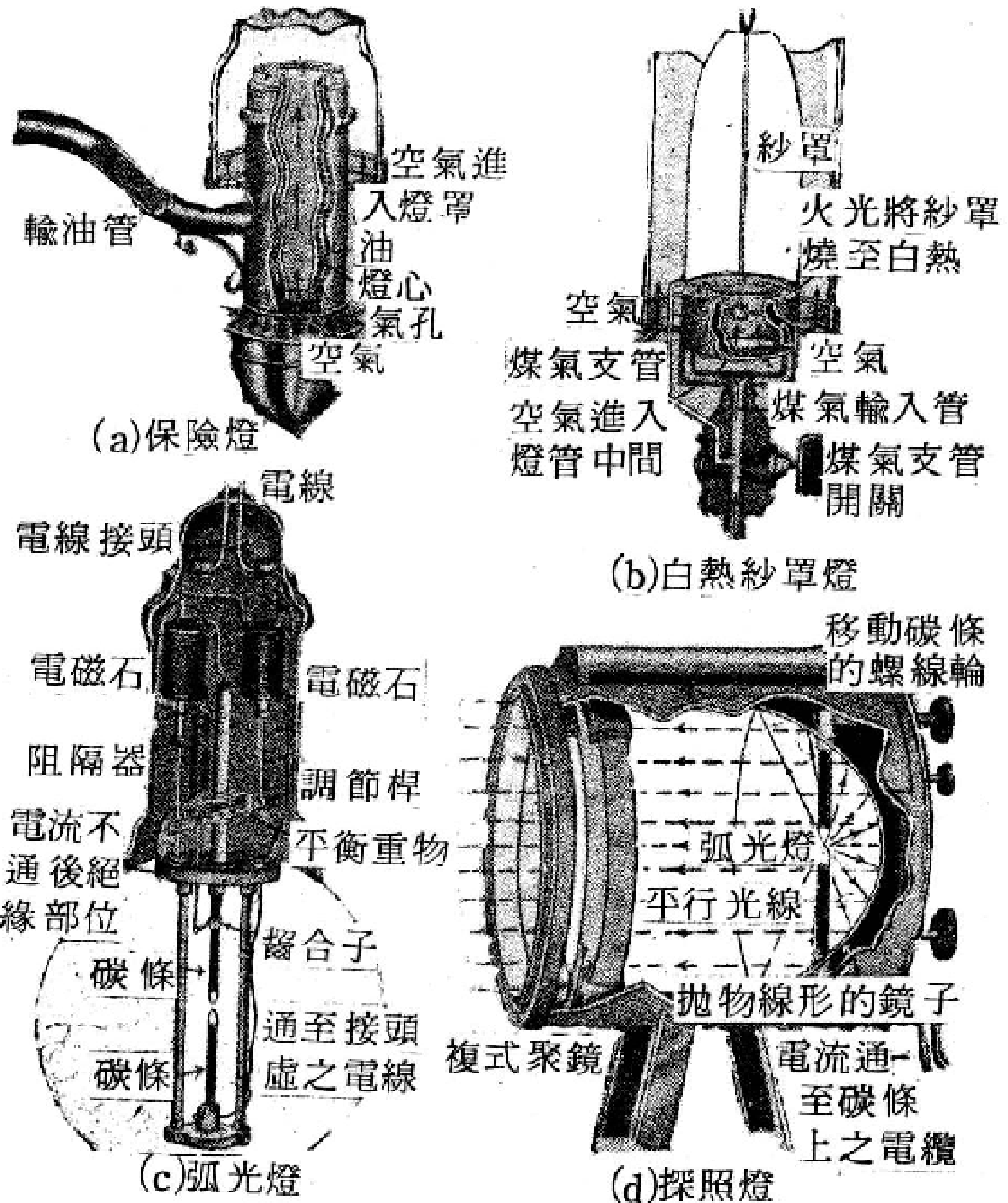


圖 16 — 39

【燈絲】(Filaments)

1. 太陽分光圖中，或暗或亮而呈不規則狀之狹線條，狀如燈絲，故名。色黑者稱爲氫絨毛 (*Hydrogen flocculi*)，即氫譜斑。

2. 發光的裝置或發熱之來源，普通的電燈所用的燈絲爲鎢絲，而電子管的燈絲發熱間接使陰極得熱。

【燈絲電流】(Filament current)

間接使陰極得熱，通過給熱燈絲的電流。燈絲發熱的來源通常有一規定值，逾額電子管容易損毀。

【燈絲電路】(Filament circuit)

流通著燈絲電流以加熱電子管燈絲的電路。除了燈絲和燈絲電源以

外，在這個電路中有時還接入用以調節燈絲電流的燈絲變阻器（*filament rheostat*），或用以將燈絲電流自動保持到所需強度的鎮流管（*ballast tube*）。接收機內如有數個電子管時，其絲極電路通常並接於公共燈絲電源。

【燈絲電壓】（Filament voltage）

電子管的燈絲電壓有一規定值，如供應不足，電子管工作不正常；反之，如供應逾額，燈絲會燒斷。

【燈絲變阻器】（Filament rheostat）

調節燈絲電流用。接在燈絲和燈絲電源電路中間。

【燈號】（Lamp signal）

兩船接近時之通訊工具，通常是以點劃燈光代替字母。

【燈塔燈】（Light house lamp）

藉一透鏡及稜鏡系統，將一強力光柱投射向一指定方向。鏡面對此種工作並不適合，因往往光之放射必須同時顧及前、後方向，且如在燈塔燈之場合，需同時向三個甚至四個方面發射。

故爲此目的此型光學系統一般均用如圖16－40中所示之圖解，首先在右首一透鏡*A*之安置使光源在其焦點上，故一平行光柱由此透鏡射出。今若擬由光源集聚一較大的光圓錐，可將此透鏡之直徑增大，但必得可觀的球面像差，而射出之光柱不再平行，因此光柱將損失其強度。

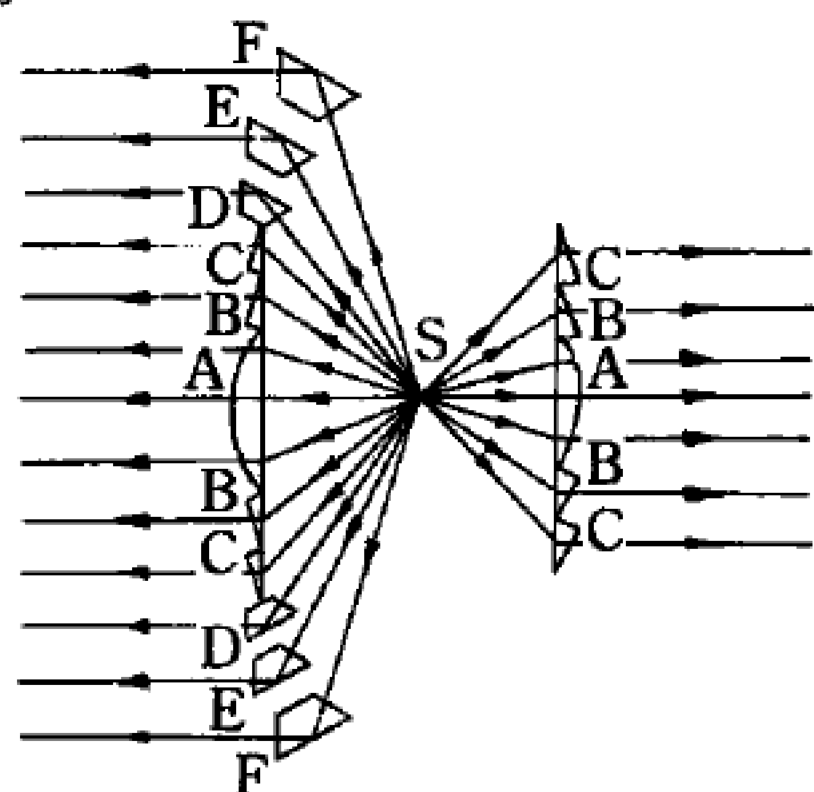


圖 16 — 40
反射折射光學系統（圖解的）

欲制止此缺點，透鏡之直徑須縮小但圓形稜鏡*B*及*C*均依此透鏡做同心的排列安置，可由圖解中看出（但僅爲截面），由*S*有如此廣角的光線可偏向而得呈現一平行光柱。

在燈塔燈的場合中，則可使用更圓形的稜鏡*D*、*E*及*F*，以開展光

柱之寬廣度，在此配列中總內反射發生在此等稜鏡之斜邊面上，故可由光源得到極為廣大的固體圓錐光柱。

許多燈塔燈均做間歇的“閃亮”，乃以一數量的此等反射折射（*catadioptric*）光學系統之鏡版圍繞光源而配列，且連續的將整個鏡版架構旋轉之。每一時間一鏡版給觀察者之視線一“閃亮”，在一短時期黑暗間隔中前後發生，而此架構旋轉，直至次一鏡版進入此位置。

光源本身必須可靠且平穩，且須有高的內在亮度，故碳絲弧光不能使用。可用一個 1,000 瓦鎢絲燈，圖 16 — 41 所示為一燈塔放射系統中所用反射折射鏡版架構圖。

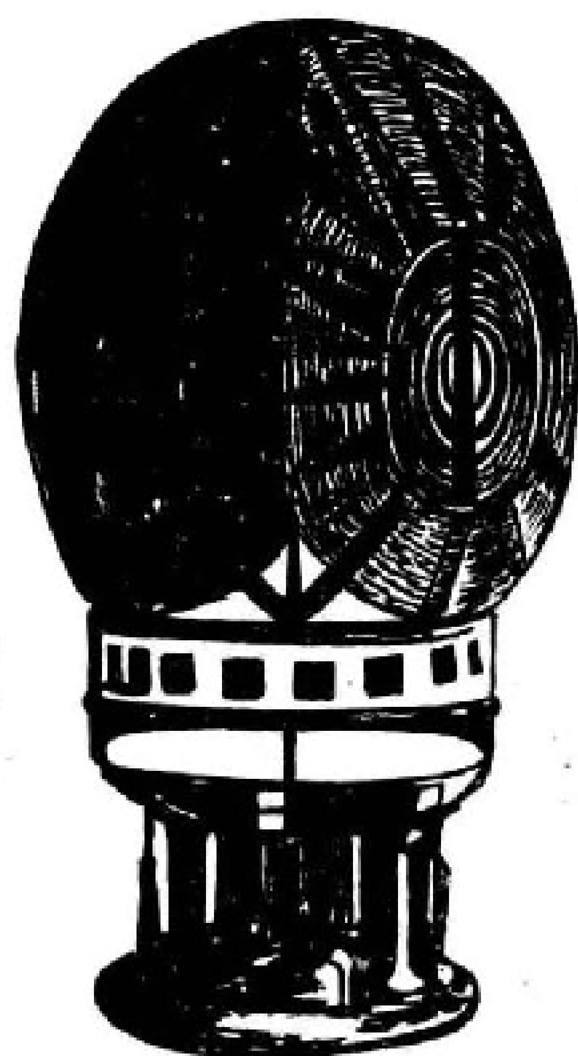


圖 16 — 41
燈塔燈之反射折射光學系統

【燈塔管】（Light house tube）

具有專門結構的放大和產生超高頻的電子管。在超高頻時，為了減少極間電容和引線電感的影響，同時為了減少電子的飛渡時間，常採用具有專門結構的、外形像一座燈塔的電子管。這種電子管的陰極、柵極和屏極都做成平板圓盤，各極之間的距離甚為微小。由於管子的極間距離很小，故在燈塔管內能夠獲得大的跨導和小的電子飛渡時間，又由於具有環狀引線（是電極在管外的繼續），故引線電感也很小。這樣一些特點便使得燈塔管可以有效地用於超高頻的放大，直到分米波。燈塔管常常是應用在柵極接地電路內。

【燃亮電壓】（Firing voltage）

一個小玻璃球，兩端各封進一塊鉛，彼此相去幾毫米，球裏不用空氣，而用高度稀薄的氖（*neon*）氣。這就是霓虹燈。若要使其發光，則如圖 16 — 42，將它接在一個電壓上即可。圖中所示為一 100 伏特的電池（*B*）。導線接在這些鉛片上。其中一根先經過一個可變的電

阻（*R*）（調節電壓使能夠增減）之後，再接在電池上。

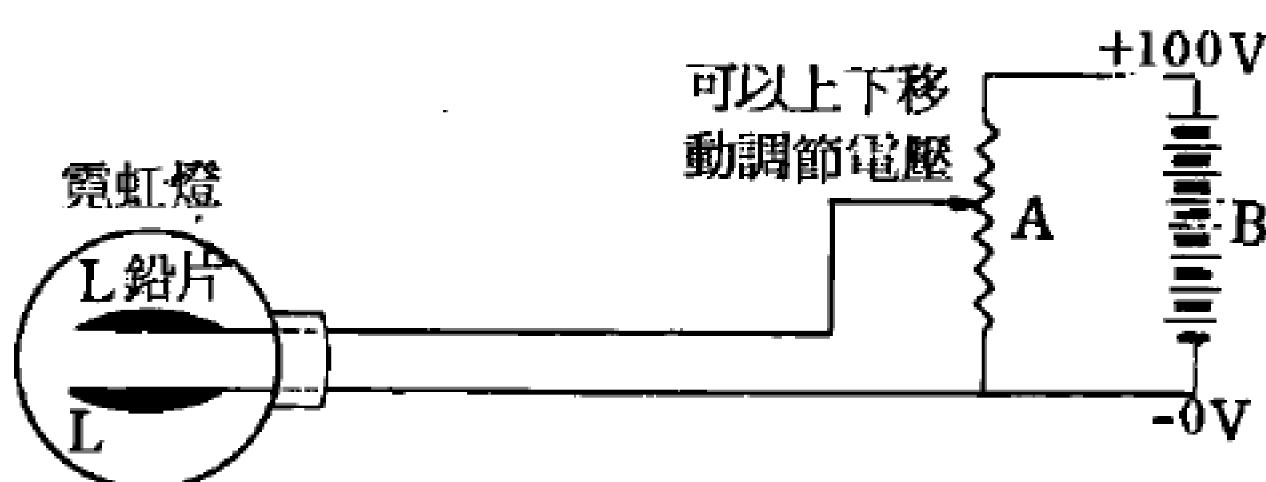


圖 16 — 42　霓虹燈

當電壓在 80 伏特時，只看到一些微微的薄光。當電壓加到 85、86、87 就亮了一點。但並沒有根本改變。繼續加至 88、89、90，剛到 90伏特時，情形突然變了。整個管子發紅光，工程師稱此爲達到燃亮電壓。

【燃料價值】（Value of fuel）

每磅的核燃料可以供應高於相同重量的煤和石油等普通化學燃料百萬倍以上的能量。大多數分裝式核動力廠的心臟部分是由充滿鈾管或大小如桶的鈾棒組合體。當鈾分裂時，產生熱能；熱經由液體介質帶動渦輪和發電機。鈾燃料每磅的價格非常昂貴，但是用來帶動渦輪的每單位熱量卻又出奇的便宜。一磅含百分之百鈾 - 235 的濃化鈾，在美國約值一萬美元，而普通內燃機燃料的價格只不過美元三分而已，也就是鈾要貴出333,333倍；然而，一磅鈾完全分裂卻可產生二百萬倍油所產生的熱能。

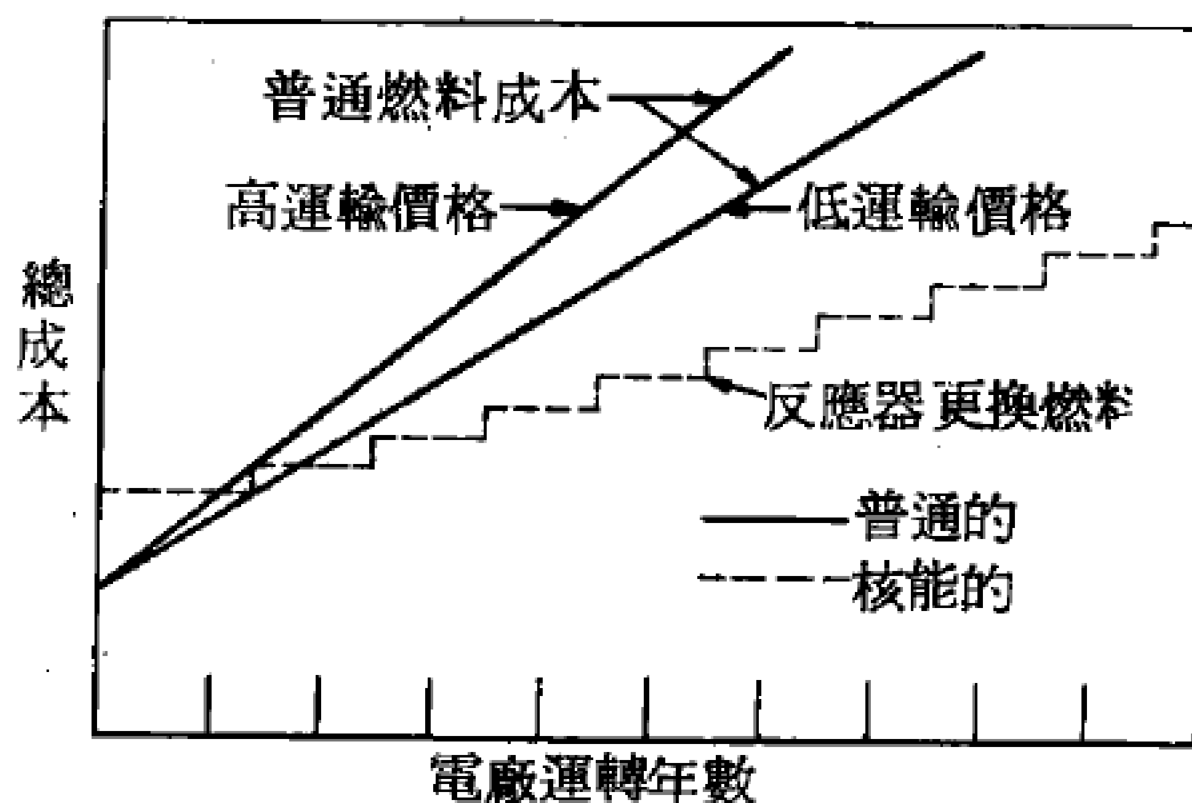


圖 16 — 43

核動力廠和非核動力廠在操作時間上的總成本。對非核動力廠有利的最初成本，由於運輸燃料到偏遠地區很快就消失掉。

如圖 16 — 43 所示，由於許多的核機械成本甚高，因此使得核動力廠的原始成本大大的增加；但是核動力廠僅需每一年或兩年纔換一次燃料，即使需要新的燃料，也可以利用小包裹運至所在地。用過的燃料先行移開，然後再運送回來，不必像普通燃料需要固定的飛機或輪船來運送。

並不需要很大的倉庫足夠來儲存燃料；當我們把輸送的成本加到普通燃料裏頭時，如圖 16 — 43 所示的總成本不久將超出階梯式的核燃料成本，這種情形將會因運送成本的提高而很快發生。這些經濟問題很重要，此外似乎仍然隱藏另外一項事實，就是說，不管普通燃料是多麼便宜，有時候核動力可以做普通燃料所無法完成的事，譬如：一座軍事指揮站由於要避開氫彈的爆炸必須埋在幾千呎的岩石下；這種地方並沒有足夠的空氣供給油或煤的燃燒，外面的空氣因為核武器的攻擊而污染也無法使用，貯存在岩石下的空氣必須供給人員的呼吸。核動廠不像油或煤動力廠，它們不需要空氣而能在很深的地下、海底或外太空繼續操作。這種特性解釋了為什麼核子潛艇有如此高的工作能力，和為什麼我們對於發展核子火箭感到極大的興趣。

【燃料耗量】(Fuel consumption)

燃料自反應器中移出作再處理之前可分裂物質的耗量。其表示方法有下列數種：(1)最常用者以百萬瓦特小時／噸（MWD/t）表示。(2)以單位體積內燃料已發生分裂反應的總數（分裂／厘米^3）表示及(3)可分裂元素消耗的百分率。

以一般熱中子反應器而言，燃料耗量為 10,000MWD/t，亦可達到 20,000 至 30,000MWD/t 者。影響燃料耗量的主要因素為由放射線照射後材料的破壞及分裂產物的累積等。

【燃料電池】(Fuel cell)

燃料電池與太陽電池、陽柱噴射、電磁射線皆為電源之一種，因可作單位重量高能量輸出和低燃料消耗，故非常適合於太空航空上使用。

燃料電池與一般之電解程序相反。一般之電解係將直流電流在水中通過，分別在兩電極上聚集氫與氧。燃料電池之裝置則直接轉為電流，故不需要充電，即可不斷供電且不變弱，故燃料充分時可確保電源之供應。

燃料電池重量極輕，輸出電力高，而且不需要活動零件。最新型之燃料電池外型似錄音機，電池上有一卷膠帶從此盤旋向彼盤，情形一如錄音機，而帶所傳遞者則爲電流而非聲音或音樂，故又稱爲錄音機燃料電池（*taperecorder fuel cell*）或乾帶電池（*dry tape battery*）。

在雙子星系太空艙中。在計劃上及執行時均曾使用燃料電池。燃料電池係 1839 年發明，其重大實用及改良上則爲近二十年間之事。

【燃耗】（Burn up）

詳閱"燃料耗量（*Fuel consumption*）"條。

【燃氣機】（Gas engine）

又名內燃機。

參閱"內燃機（*Internal combustion engine*）"條。

【燃燒室】（Combustion chamber）

燃燒室因其外形似筒，俗稱爲燒燃筒，在引擎中，它位於壓縮器與渦輪之間（圖 16－44）。壓縮器內的壓縮空氣經由擴散導管，進入筒內，在筒內與燃燒油噴嘴噴出的燃油充分混合，由火星塞點火，產生燃燒，使氣流達到高溫、高壓的狀態，這是整個引擎中，溫度最高的部分。

燃燒室依形式分爲三型：單筒式、環筒式與筒罐式。單筒式是最早期的燃燒裝置，多用於輻流式引擎，它是一個個的燃燒筒，分

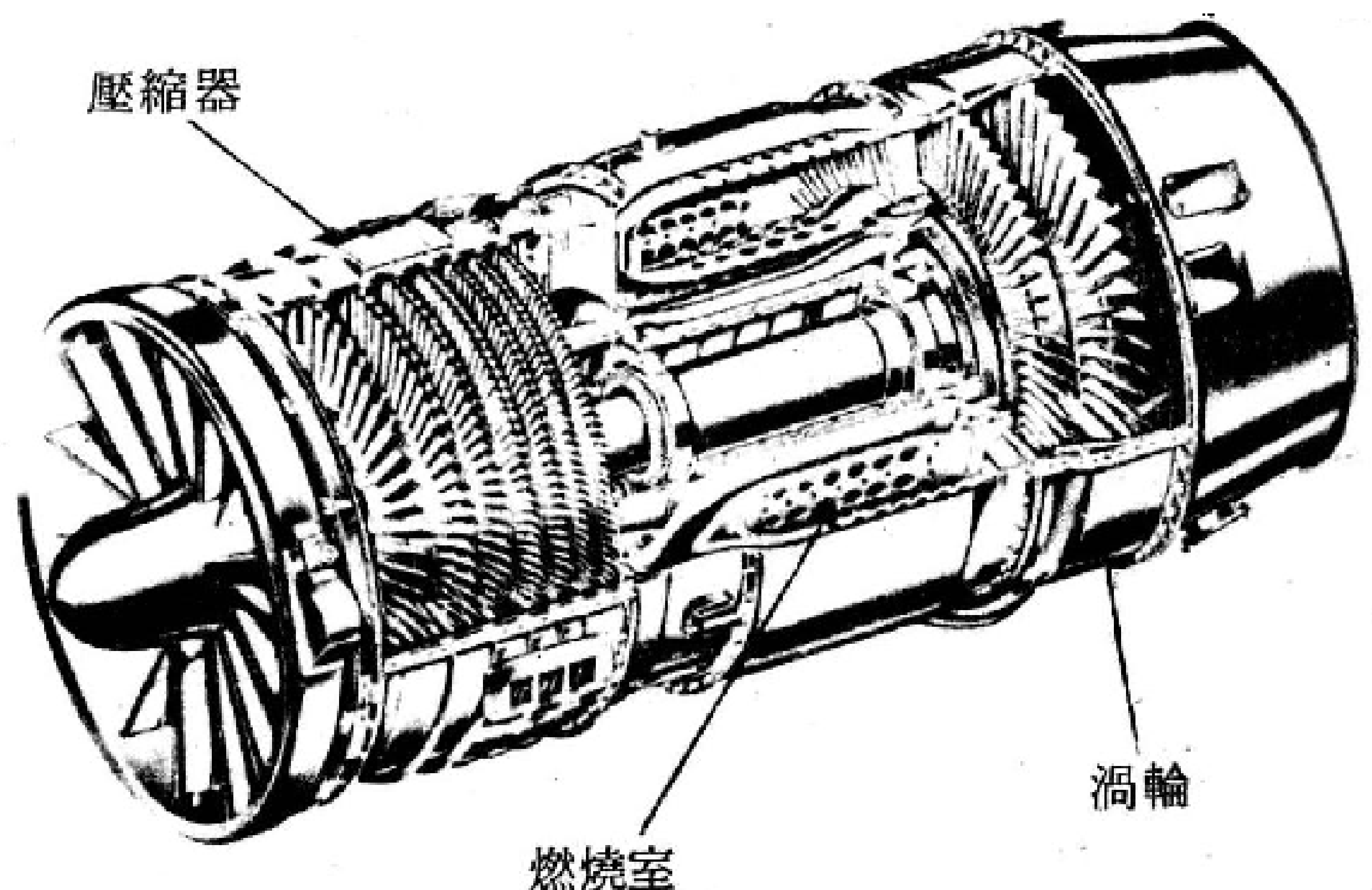


圖 16—44 壓縮器、燃燒室與渦輪

別環繞於主軸上，任何一個故障，可以分別更換，甚爲方便，但各別獨立，重量增加，空氣分配不均勻，所以現已漸被淘汰，環筒式是在以軸爲中心，形成二個（或三個）同心圓，圓與圓之間即成爲燃燒室，重量上減輕很多，但一旦故障生成，更換不易；筒罐式，它實際上是由上二型改良成的，外面是環筒，而在中心部分則環狀排列成單筒（一般約有八至十二個），筒與筒之間有連通管相連接，點火系統只在對立的某二個筒內才有，火焰經由連通管傳佈至每一個筒內。筒壁有圓孔與斜孔，壓縮空氣由此噴出，將火焰吹向中央燃燒，且又有冷卻作用（一般進氣量只有 30 ％用於燃燒，其餘均用於冷卻，火焰溫度約爲 3,000 °F ～ 4,000 °F ）經過冷卻，筒壁只有華氏六、七百度。

【燃燒熱】（ Heat of combustion ）

一單位質量燃料完全燃燒後所供給之熱量名爲其燃燒熱。通常以卡／克或 B.T.U.／磅表之。

【燃燒質量】（ Combustion mass ）

乃由一單位核燃料質量所供給之能量數。此數量常稱爲燃燒率（ *burn-up ratio* ），以百萬瓦特小時（ MWD/t ）表示之：

$$1MWD = 2,400\ kWh = 8.64\times10^{10}\text{ 焦耳}$$

【獨立電場】（ Independent electric field ）

將平行板電容器的兩片與蓄電池的兩極連接後，即可由靜電計見到其中有電壓發生。此時，倘將板與極的連繫予以拆除，則其電壓仍然繼續存在，兩片間的電場亦然。如此的電場稱爲獨立電場。如圖 16 — 45 使 A 板與 B 板接觸以後，則靜電計中鋁箔的偏轉重歸於零。此時其中的電場遂歸消滅。由此可知：獨立電場僅在兩導體互相絕緣時，始能發生。故在同一導體的各部分間不

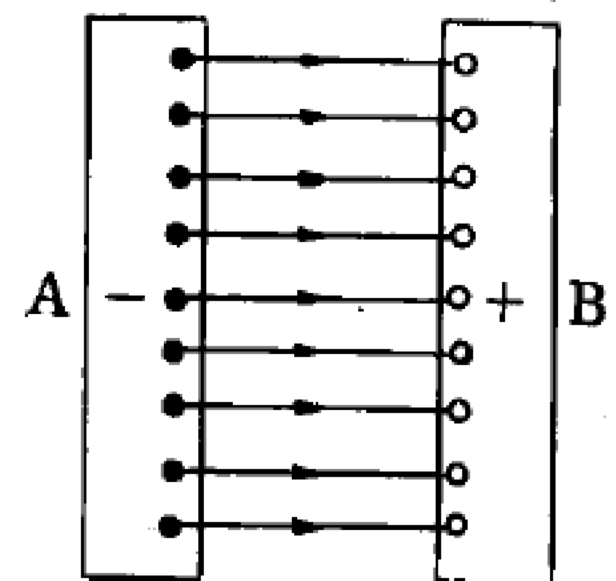


圖 16 — 45
電力線的終點爲基本電荷。電力線的方向，經規定爲自負極往正極之方向。

可能發生獨立電場，且若不一直維持其電壓（例如使之與蓄電池的兩極連接），則其電壓亦不能保持。

【獨腳娃】(One-leg doll)

這是一種玩具，如圖 16 — 46所示。附有重錘的鐵絲可自由彎曲或伸長，使重心的位置上下改變。

當重心位置在獨腳娃的腳尖時，不論如何傾斜，總是保持靜止的狀態。一旦重心位置在腳尖以下時，就會像單擺一樣搖擺。

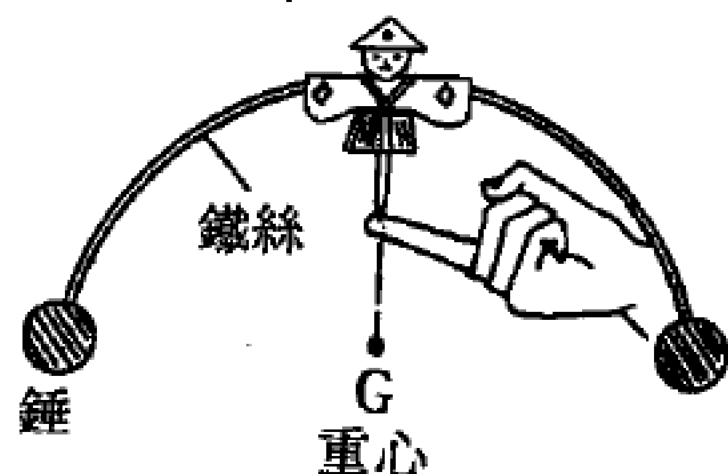


圖 16 — 46　獨腳娃

【積】(Product)

兩數相乘的值。如決定 $L\ C$ 電路的諧振頻率值就是 $L \times C$ 的積。

【積雪深度】(Depth of integrated snow)

積在地面上的雪的深度，用厘米做單位以表示深度，其工具是雪尺，通常是量數個地點，然後再加以平均，求出平均值。

【積體線路】(Integrated circuit)

為了縮小電子裝置線路，所佔的體積。把電子學的原理應用到整個線路，而非各個單一組元，可使形體更形縮減。發展積體線路的目的，是發展許多單元，而由它們各別的結構，來表現特殊的電子作用，如放大等，以消除組元與線路之間的區別。

如圖 16 — 47 (*a*)中的線路有六個組元：電晶體、三個電阻器、一個接收訊號的電容器、一具輸出經過放大後的訊號的電容器。這些組元均固定在一個公共支架上，並用金屬線將它們連接起來而形成實用放大器。因為改變半導體的化學成分可使電阻改變，因此線路中的電阻器，*P*-*N* 接頭的電容可以當作輸出及輸入電容器。於是整個線路便能由各種雜質含量不同的矽(*Si*)來組成，並用導線將各組元相聯，如圖 16 — 47 (*b*)。事實上，傳導性相同的各組元可以聯結在一處，而不必另外使用導線，因此線路縮為只含三個組元，如圖 16 — 47(*c*)。使用適當的幾何排

列，又能把這些東西全部組合在一個單晶半導體平板內，如圖 16 — 47 (*d*)。這片平板由適當的 *N* 型、*P* 型及絕緣內稟區域等所構成，其外形與單純半導體裝置極爲相似，但它卻具有整個線路的作用。

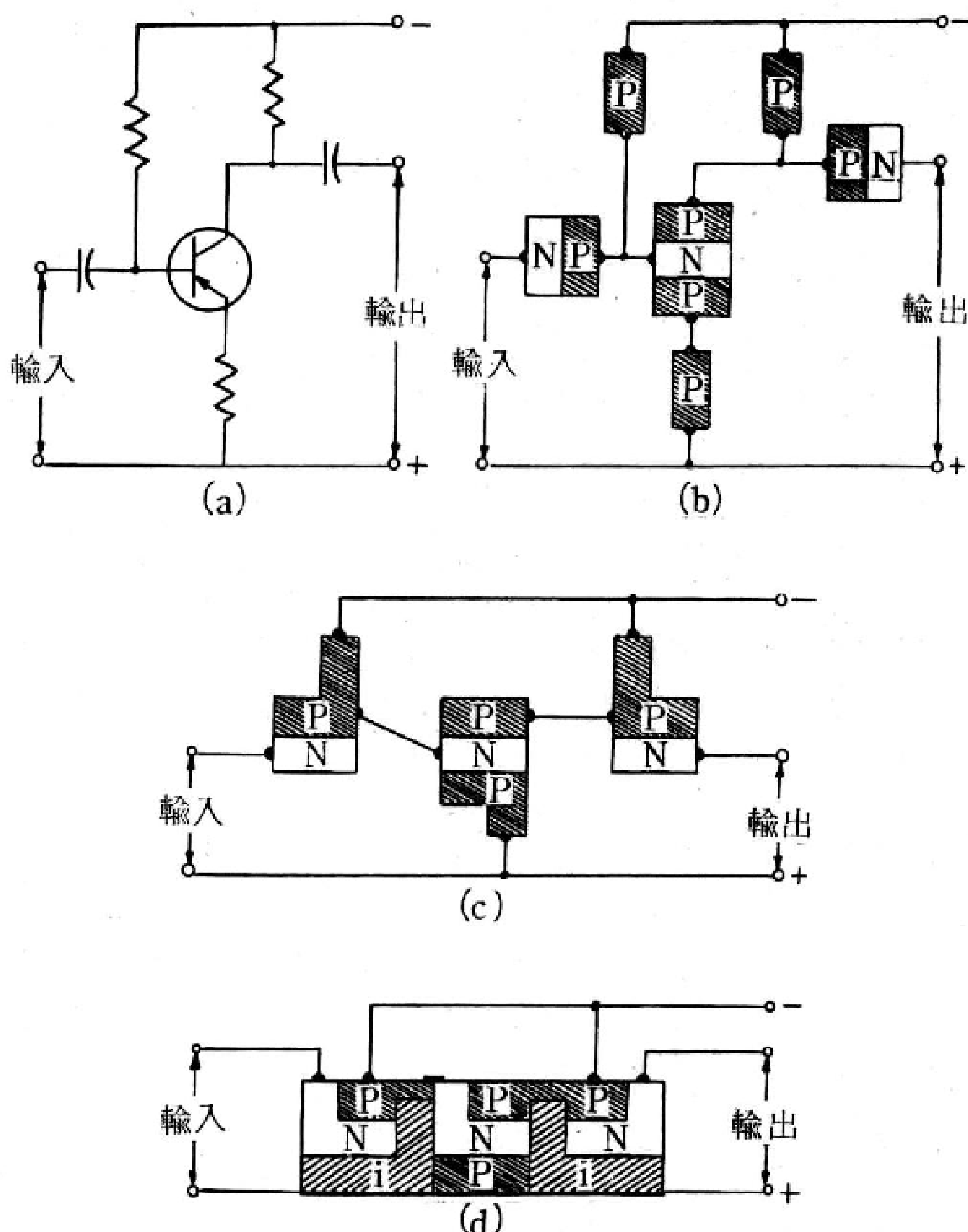


圖 16 — 47　由常用電晶體線路發展而成積體線路放大器

積體線路與傳統半導體線路相比較，利用這種積體線路，可以減少某一大型電子系統所含的個體數量。因爲線路中任一部分失效，均將影響整個系統的操作，甚至完全不能操作，因此這種減少單元數目的積體線路，增進了電子系統的普遍功能。

【縐折】(Creases)

普通較軟薄的平面，對外力的抵抗強度小，而容易產生彎曲形變。要防止此類器材的形變，最經濟的方法，就是在物體表面製些縐折 (圖 16 — 48)。如

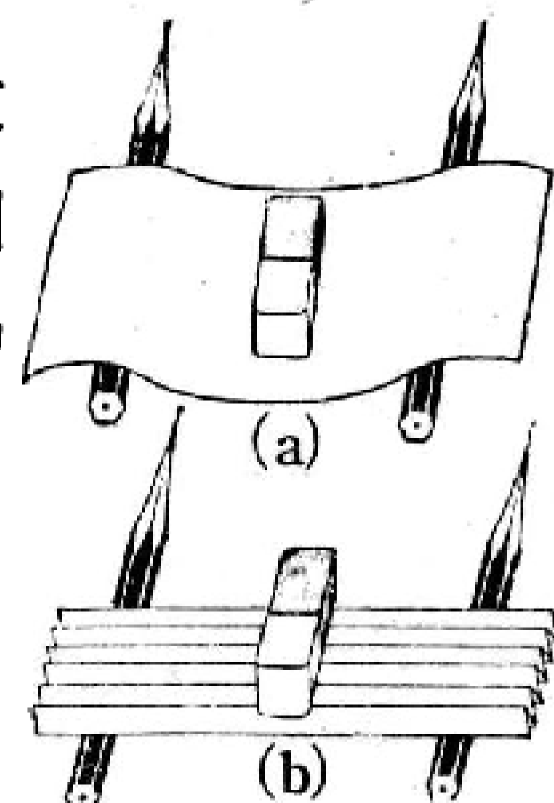


圖 16 — 48
縐折對外力的抵抗

塑膠縐紋板，方形塑膠桶側面上的十字型凹溝，及湯瓢柄上的折邊等皆是這類原理的應用。

【膨脹】(Expansion)

物體遇熱，體積脹大，叫做膨脹。固體、液體以及氣體，均有此現象。例如在製造車輪的過程中，先將一個鐵製的輪圈，加熱到足夠的溫度，使得輪圈在熱的狀況中，剛好套在輪子的外圍。冷卻之後，輪圈即向內收縮，並以極大的力量壓住車輪。此乃利用物體受熱膨脹的性質。

有些機械另件，如內燃機氣缸之一端受到高熱，會產生內部應力，此種應力能導致材料之裂碎。岩石之風化，一部分也是導源於這一個原因，因爲岩石內部與其表面間溫度之鉅大差別，可使其表面發生裂痕而終於崩裂。

爲了要使鋼鐵橋樑免除因熱而產生的材料內應力，所以我們並不將主桁構直接架在橋墩上，而是在二者之中，加以軌枕類的承接物。此種能移動的軌枕，可使桁構於溫度發生變化時自由漲縮。架設電報線時，我們必須使其稍稍放鬆而下垂，以免於冬季因收縮而斷裂。全部暴露在外的火車鐵軌，其接頭處並不是密切連接，而是在接頭處留出空隙，以便使鐵軌於受熱時能夠自由膨脹，而不致改變其位置。

【膨脹比】(Expansion ratio)

物體因受熱或壓力的變化，體積發生改變，其體積變化比，稱爲膨脹比。如一氣體以保持不變的方式膨脹，體積由V_1膨脹到V_2時所作之功爲

$$W=\int_{V_1}^{V_2} p dV = kNT\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V} = kNT\ ln\frac{V_2}{V_1}$$

式中$\frac{V_2}{V_1}$稱爲此氣體變化後之膨脹比，設計內燃機時，膨脹比爲決定引擎功率的因素之一。

【膨脹宇宙】(Expanding universe)

愛因斯坦（*Einstein*）在廣義相對論曾經假設，如果宇宙的形狀像個封閉的圓球，那它一定正在膨脹或正在收縮。赫伯（*Hubble*）在觀察星座的運動時，發現在遙遠的星雲系裏的星體，有退離的現象，星雲並不僅對地球上的觀察者有退離，而是互相退離。這種退離並沒有旋轉的運動，純粹是沿徑向方向的膨脹。在最遙遠的星雲，所觀察到的退離速度爲每秒六萬公里，卽光速的十五分之一。而且沒有任何跡象顯示，速度隨距離的增加會停留在這種數值上，因此可以說宇宙正向四面八方膨脹著，這與愛因斯坦的見解相吻合。

【膨脹係數】（Coefficient of expansion）

物體受熱，其溫度增高一度時，每單位長度所增加之長，謂爲線膨脹係數。每單位容積所增加之容積，謂之體膨脹係數。

【膨脹雲霧室】（Expanding cloud chamber）

由一玻璃筒於開口端蒙以橡皮膜，內盛酒精蒸氣與空氣或氬之混合氣而成。移動橡皮膜使室膨脹，室內混合氣因體積膨脹而溫度降低，酒精氣接近飽和狀態卽先行附著正好以快速穿過混合氣中之離子而凝結。因有可見雲跡之形成。

【蕈狀雲】（Mushroom cloud）

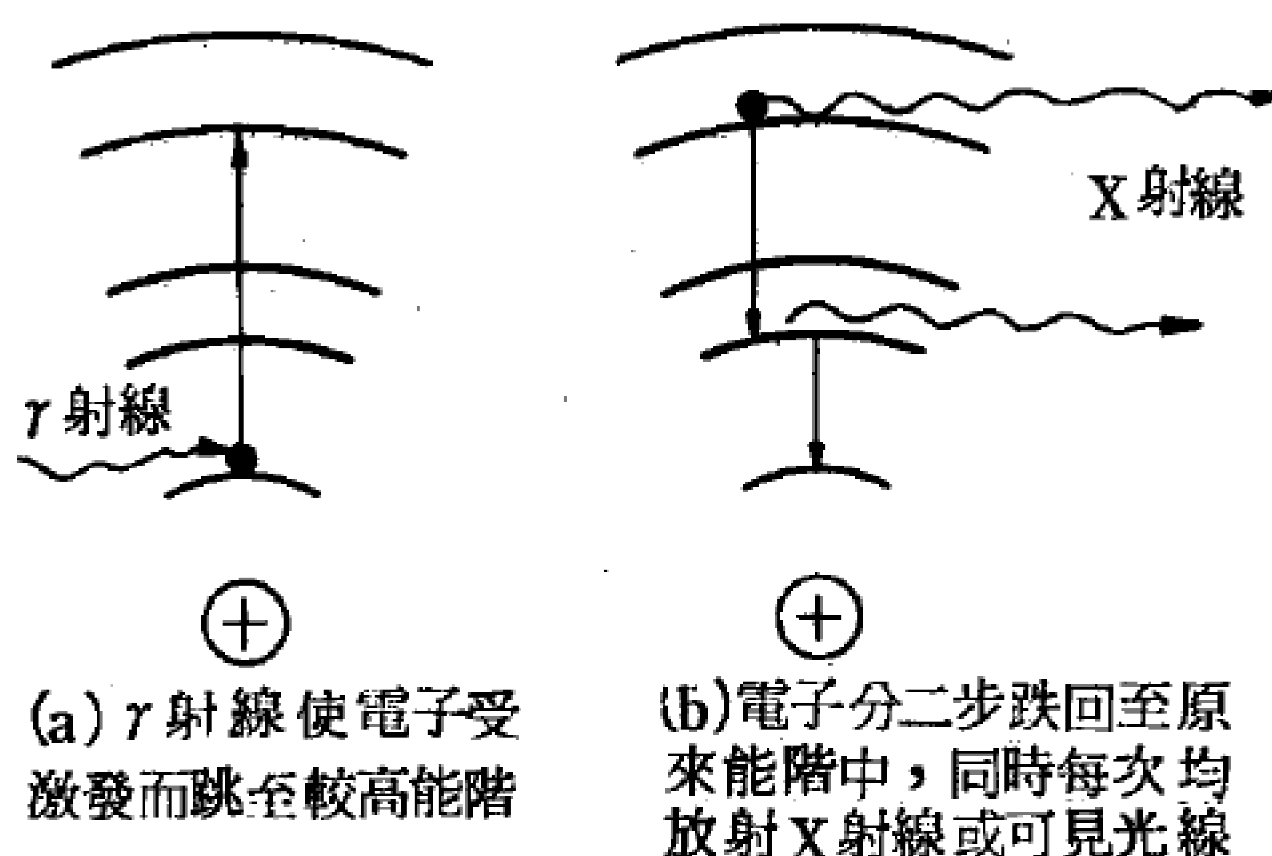
核武器在空氣中或靠近地面的位置爆炸後，將熱氣體、煙霧、塵埃和其他物質帶到上空而形成的蕈狀雲堆。

【螢光】（Fluorescence）

許多物質能吸收外界的能量（如*X*射線、紫外線或放射粒子），而且能立刻發放電磁光子以釋出這些能量（圖16－49）。這些光子通常是可見光，這種可見光就稱爲螢光，能發出螢光的物質稱爲螢光劑。

紫外線射及氰亞鉑化鋇之幕時，能使後者發出一種綠光，亦卽紫外線能使幕上產生另外一項向外傳送的射線。因此，這也就等於是將不可見的短波射線轉變成長波的射線，此項轉變爲較長波射線（不易受到折

射之射線）之現象，在螢石尤爲顯著，故被稱爲發螢光。又螢石係氟（ F ）與鈣（ Ca ）之化合物。因此，我們可以猜想得到，此種由短波轉變成較長波射線之作用，特別容易於短波射線區域內發生。事實上，螢光現象



(a) γ射線使電子受激發而跳至較高能階

(b)電子分二步跌回至原來能階中，同時每次均放射X射線或可見光線

圖 16 — 49　螢光

大部分確是局限於短波區域之內。又如一般鐘錶的錶面上往往含有微量的放射性元素，因而能放射出極短的短波射線，當此種射線觸及塗有發光顏料之指針及錶面數字時，即可使二者發出螢光。螢光劑當有光照之時，雖發螢光；但無光照之，其光亦消滅。

【螢光材料】（ Fluorescent material ）

由實驗發現，氣體、液體和固體在用光照射時，它本身也會發出微弱的光來。而當照射去掉後，有些物質（特別是氣體和液體）的這種發光，也就馬上停止，而一些固體的這種發光，卻還能繼續很長一段時間（甚至可延長幾天）。我們就把那只能在有光照射下才能發光的物質叫螢光材料，把這種發光叫做螢光；而把在照射去掉後還能繼續發光的物質叫燐光體，而這種發光就叫燐光。一般所用的螢光材料多是放綠光的矽酸鋅化合物、放藍光的氧化鋅、放黃光的矽酸鈹鋅或硫化鋅以及放白光的磷化物。最常用的是硫化鋅鎘的晶體。

在選螢光材料時，所必需考慮的條件是射線打在螢光屛後，所呈現光點餘輝（或暫留）時間的長短。如果餘輝所維持的時間小於 0.1 秒，稱爲短暫留（ *short persistence* ），多於 1 秒則稱長暫留（ *long persistence* ）。在短暫留與長暫留之間者，稱爲中暫留（ *medium persistence* ）。矽酸鋅的暫留時間非常短，如圖像的變化，非常的快

；電視機收像管，即用短暫留材料；如雷達指示管及示波器則用長暫留螢光材料。

【螢光屏】（Fluorescent screen）

一種塗有螢光材料的屏。肉眼無法看見的射線如倫琴射線、紫外線、陰極射線等，若使這些射線照在螢光屏上，便能察覺。例如在醫療上作倫琴射線透視，在示波器和電視中用以觀察射線所形成的波形或圖像。螢光材料（燐光質）的種類很多，色彩也有很多種。

【螢光燈】（Fluorescent lamp）

也叫日光燈，爲一種低氣壓放電管。普通電燈所發者爲熱光，其中變爲可見光者僅7～8％之電能，餘皆耗爲數仟度之燈絲高熱。而螢光燈之玻管內壁塗有螢光物質，其中並充有氬及水銀蒸氣；當電流通過時，此種氣體發出之紫外線即射於螢光物質而發出可見光。其溫度約40～50°C，故耗電甚省而發光效率遠較白熾燈大，所耗的電力僅爲同樣明亮度的白熾燈之1／3～1／5。其構造如圖16－50所示。將燈絲與電極封在長玻璃管內，管壁塗有螢光物質，而管內充以低壓氬或水銀蒸汽。用安定器與起動器使此放電管放電時，電子就撞及水銀的分子，一個接一個撞出電子來，所以100 V 的低電壓，也可以使放電持續下去。

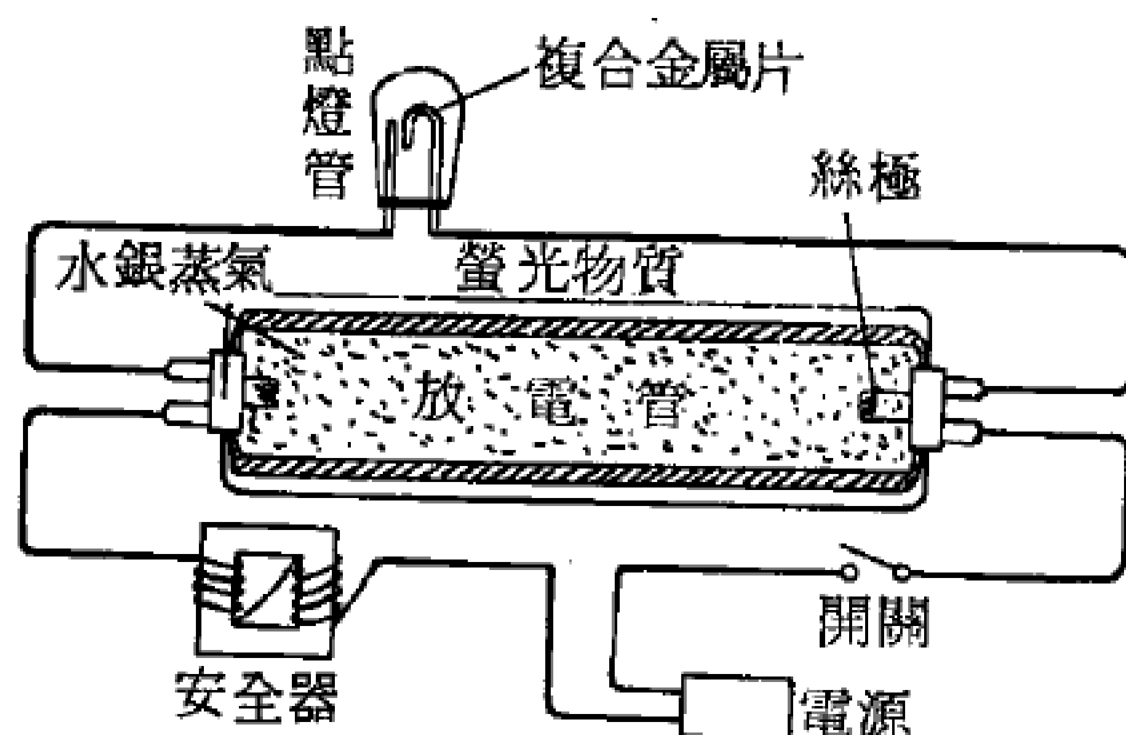


圖16－50 日光燈

當開日光燈的開關時，起動器內即起放電，因其放電的熱使複合金屬片伸展而接通電路

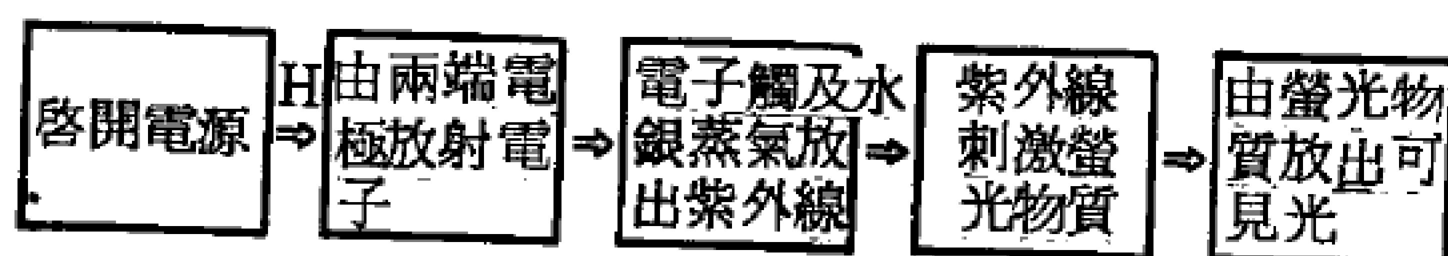


圖16－51

。於是，日光燈的燈絲便有電流通過，而在放電管內引起放電。此時，起動器內冷卻下來，複合金屬片收縮，起動器內電路便自動切開。步驟如圖 16 — 51 所示。

【螢光輻射】(**Fluorescent radiation**)

X射線的吸收過程可分爲兩種，一種是電子對X射線的散射；另一種則是原子將入射的能量吸收後再放出其本身特性的X射線，後者卽稱爲螢光輻射。這兩種過程雖然最後都放出能量，可是其能量的放出是向著四面八方的，因此，就原來方向的X射線來說，還可被視爲吸收過程。當然，在這些過程中，電子也可能被放出來；甚至，當能量夠高的時候，會有偶對產生。

【螢光鏡】(**Fluoroscope**)

是一種有螢光屏 (*fluorescent screen*) 的儀器，它適當地配裝在X射線管上。我們可以利用X射線管的照射，在螢光屏上顯現一螢光映像，實際上是一種X射線的影像，於是我們可以很快地、間接地看到身體內部諸器官，器官內部之構造，或用來透視金屬塊的存在。

【衞星】(**Satellite**)

圍繞著行星周圍旋轉，而具有如像行星對太陽的關係的天體，稱爲該行星的衞星。自 1610 年伽立略 (*Galileo*) 發現木星的四顆衞星以來，至今已發現的太陽系中各行星的衞星共有三十二個。其中地球有一個 (卽月球)、火星有兩個、木星有十二個、土星有十個、天王星有五個、海王星有兩個。衞星的公轉方向通常和行星相同，只有木星的第八、第九衞星及土星的第九衞星方向相反。衞星的光度除了木星的四大衞星外，皆甚微弱，以小望遠鏡就不可能觀察到。

【衞星速度】(**Satellite velocity**)

放置人造衞星的火箭，其最後一級的終點速度必需達到一定程度，方可使衞星環繞地球，常轉不息，這終點速度，叫做衞星速度。因爲地

球對衞星有吸力（重量），這吸力必需用衞星環行時所產生的離心力去對付。就如在繩子的一端，縛以重物，手抓著另一端打圈圈，轉得愈快則手指受的牽力愈大，這牽力就是離心力。地球的吸力與衞星和地球中心距離的平方成反比，離心力和衞星的速度平方成正比，和距離成反比。從這些關係，不難找出衞星速度和衞星與地球中心距離的關係，這距離是地球半徑加上衞星高度。所以衞星愈高，需要的衞星速度愈小。譬如說在近地球表面，衞星速度約26,000呎／秒。離地球表面3,000哩，衞星速度可減至20,000呎／秒。近地球表面，空氣濃厚，如果衞星速度達到26,000呎／秒，因空氣摩擦而產生的熱，早使衞星化爲粉末。所以發放衞星，必需用火箭射至離地球表面一百哩以上的高空，既保художник安全；無空氣阻力，又可保持原有速度，常轉不墜。

【衞星運動】（Satellite motion）

衞星多半係以行星爲焦點，圍繞著行星作橢圓運動。茲以地球爲例，地球的衞星月球係以地球爲焦點，繞地球作橢圓運動。橢圓的定義乃某一點P的軌跡，恰好使P點與二固定點（稱爲焦點）之間的距離和爲一常數$2a$（圖16－52）。每一個橢圓的特性，可以用這個常數和二焦點的距離$2c$描述之。也可以用半長軸a與半短軸b描述之，二種描述法之間的關係示於圖16－52中。

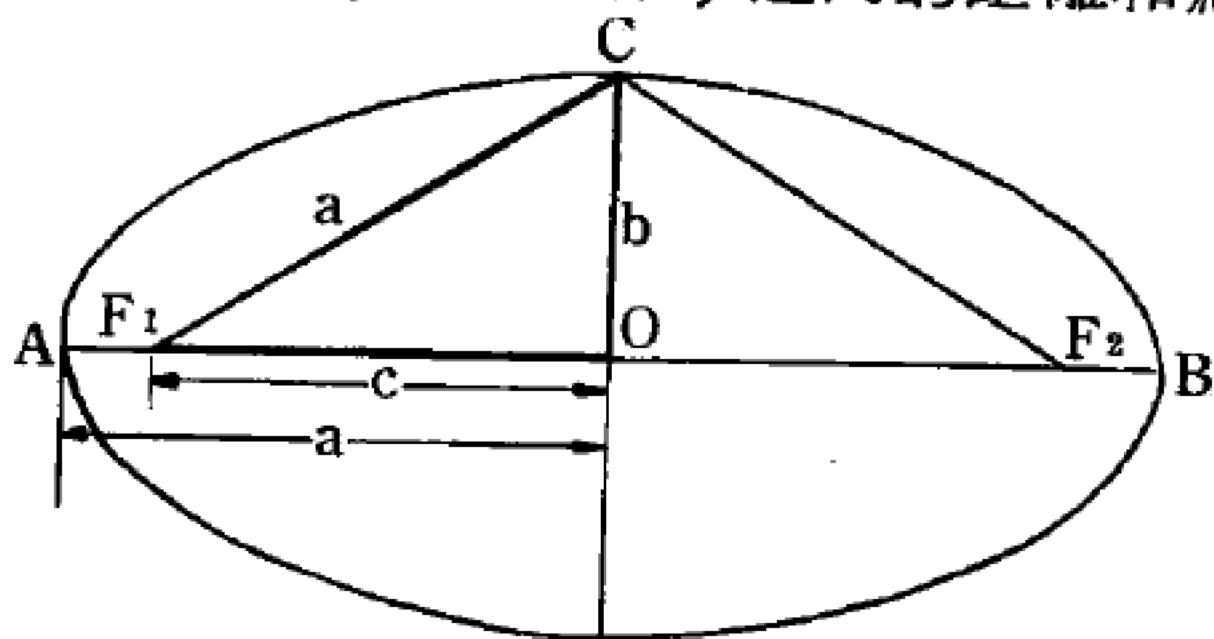


圖16－52

A點在橢圓上$AF_1+AF_2=2a$。由對稱關係知$AF_1=F_2B$，所以$AB=2a$，半長軸就等於a。又C點亦在橢圓上，$CF_1+CF_2=2a$，由對稱關係知$CF_1=CF_2$，所以$CF_1=a$，因爲OCF_1是一個直角三角形，所以$b^2=a^2-c^2$。

將月球的速度$\vec{v}$分解爲二個分量，一個爲沿位置向量的分量，一個

為垂直於位置向量的分量：

$$\vec{v} = \vec{v_r} + \vec{v_\perp}$$

從圖 16 — 53可以看出，$v^2 = v_r^2 + v_\perp^2$ ，動能可以寫為

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v_r^2 + \frac{1}{2} m v_\perp^2$$

以 L 來表示 $v_\perp$

$$v_\perp = \frac{L}{m r}$$

代入上式得

$$E_K = \frac{1}{2} m v_r^2 + \frac{1}{2} \frac{L^2}{m r^2}$$

總能量就變為

$$E = E_K + V_r = \frac{1}{2} m v_r^2 + \frac{1}{2} \frac{L^2}{m r^2} - \frac{GMm}{r^2}$$

M與m分別為地球與月球的質量，G為萬有引力常數。這個式子表示出在軌道上任何一點的總能量。在距離地球最遠的地方和最近的地方，v_r 都等於零。在這一點的距離以 r_0 表之，則在這一點的能量為

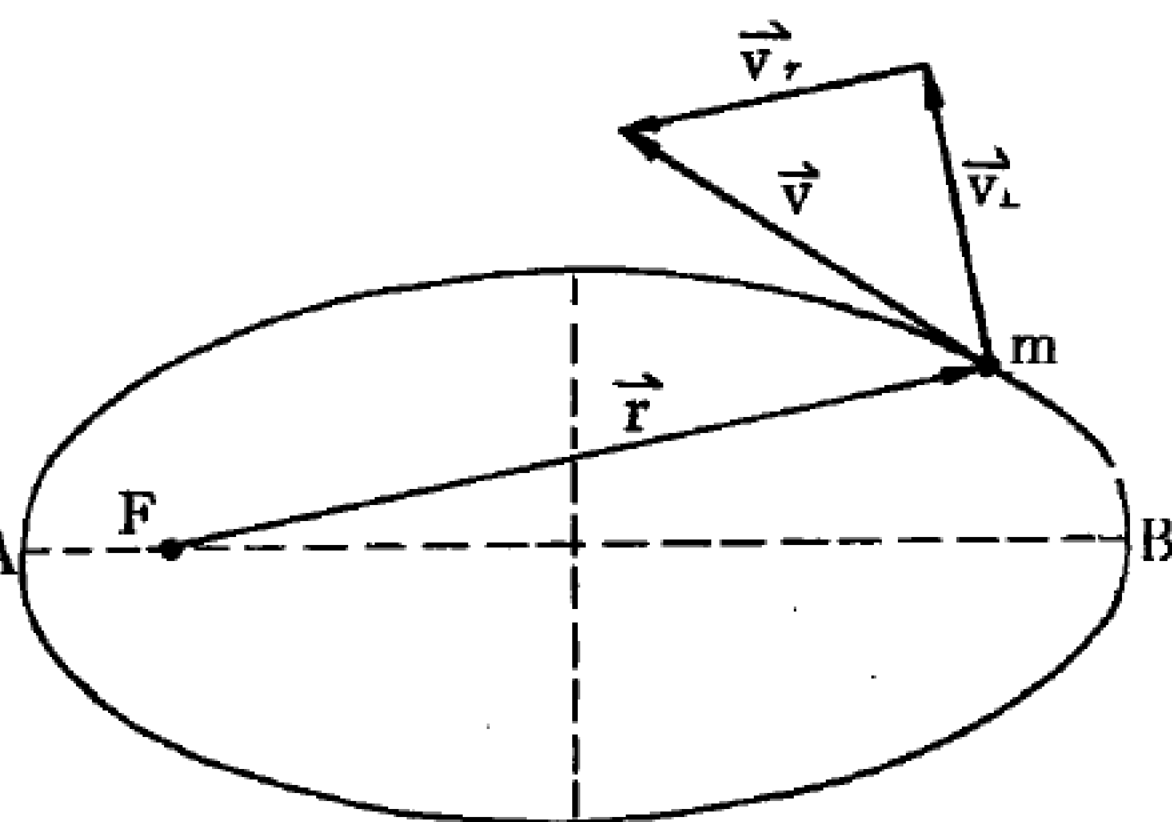


圖 16 — 53
$\vec{r}$的分速度$\vec{v}$分解成平行於量$\vec{v_r}$與垂直於$\vec{r}$的分量$\vec{v_\perp}$

$$E = \frac{L^2}{2 m r_0^2} - \frac{GMm}{r_0}$$

兩邊同乘 $\frac{r_0^2}{E}$，得 r_0 的二次方程式：

$$r_0^2 + \frac{GMm}{E} r_0 - \frac{L^2}{2mE} = 0$$

由圖 16 — 52知這一條方程式的二組解為

$$r_0 = a + c \text{ 與 } r_0 = a - c$$

進一步，由二次方程式的性質可得，二組解的和等於負的 r_0 項的係數；即

$$(a + c) + (a - c) = -\frac{GMm}{E}$$

二組解的乘積等於常數項

$$(a + c)(a - c) = -\frac{L^2}{2mE}$$

從第一條方程式可得

$$2a = -\frac{GMm}{E} \quad \text{即} \quad a = -\frac{GMm}{2E}$$

從第二條方程式，並利用 a，c 與半短軸 b 間的關係式（圖 16－52），可得

$$a^2 - c^2 = b^2 = -\frac{L^2}{2mE^2}$$

即
$$b = \frac{L}{\sqrt{-2mE}}$$

因爲月球的軌道是一個封閉的曲線，總能量 E 應該是負的，我們所要取的乃是一個正數的平方根。

這些方程式表示出橢圓軌道與能量和角動量之間的關係，橢圓的半長軸 a 只和能量有關係。我們發射一個衛星，則衛星的橢圓軌道的長軸只和衛星脫離推進系統時候的位置和當時的速率有關，與運動的方向無關。

在另外一方面，半短軸則與衛星脫離推進系統的那一瞬間的運動方向有關。因爲 $L = mrv \sin\theta$，對固定的能量而言，b 與 L 成正比，可以看出，當速度與位置向量互相垂直的時候，b 最大。

衛星離地球最近的地方，距離爲

$$r_{最小值} = a - c = a - \sqrt{a^2 - b^2}$$

b 很小的時候，式中的平方根趨近於 a，$r_{最小值}$ 變的很小很小，這時，橢圓很扁，焦點趨近於長軸的兩端。b 愈變愈大，變到恰好等於 a 的時候，$r_{最小值}=a$，橢圓變成了一個圓，二個焦點與圓心重合在一起。因爲 b 是和 L 成正比的，所以對某一固定能量而言，圓形軌道的時候，角動量有最大值。

【衡消法】(**Null method；Zero method**)

任何測量方法，其讀數是取得零值者。

【親－子關係】(**Parent-daughter relation**)

在放射衰變裏，正在放射中的原子核，稱爲親原子核（ *parent nucleus* ），衰變後剩下的原子核稱爲子原子核（ *daughter nucleus* ）。在圖 16 — 54中，^{238}U爲親原子核，^{234}Th爲子原子核；順序而下，則 ^{234}Th 又爲 ^{234}Pa的親原子核。對這類原子核以及其他子原子核也具有放射性的原子核，瞭解其子原子核活性度升、衰之特性，是很有趣的。其可分爲三類：

1. 如果親原子核的 $t_{1/2}$ 較子原子核的爲短，則子原子核的活性度將升至某極大值，然後依照子原子核自己的半衰期衰變。

2. 如果親原子核的半衰期較子原子核長，則子原子核的活性度將升至一極大值，再依親原子核的半衰期衰變，因爲親原子核依照它自己的半衰期衰變增加子原子核數，而使其總數維持一常數，故子原子核不能以自己的半衰期衰變，這種情形稱爲暫時平衡（ *transient equilibrium* ）；暫時平衡並不是眞正的平衡，只是一種穩定狀態。當然，如果用化學方法，將子原子核由親原子核中分離出來，子原子核將依自己的半衰期衰變。

3. 如果親原子核的壽命長到無法檢測其衰變率的變化，則子原子核的活性度升到一極大值後，若不將子原子核與親原子核分離，衰變率即一直維持一常數，這種極大限度的情況，稱爲永久平衡（ *secular*

equilibrium），這可以表示在穩定情況下，親原子核與子原子核的活性度率相等，即

$$A_1 = A_2$$

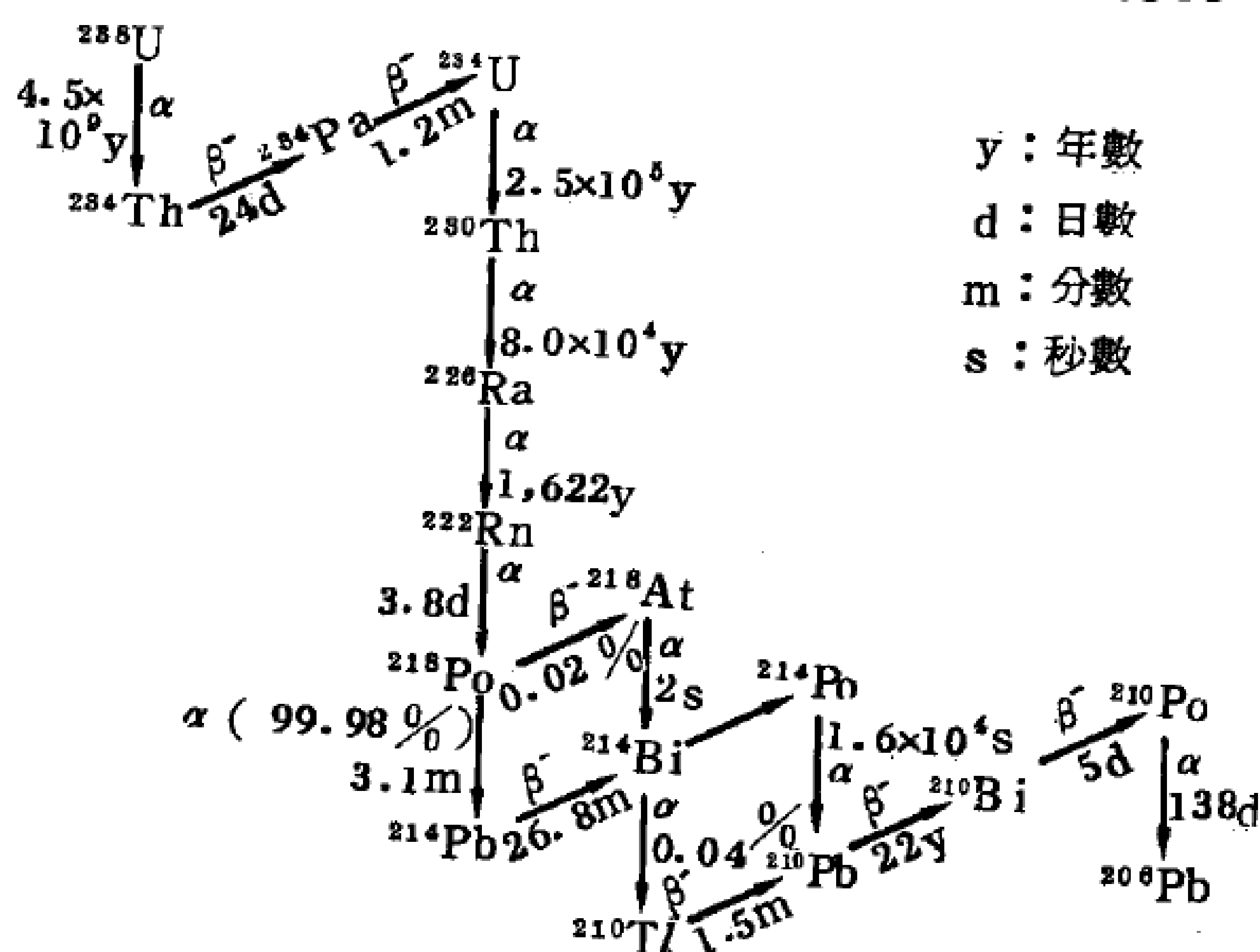


圖16—54

天然放射性4n+2族中的衰變系列圖，以貝他衰變爲主的原子核有 ^{234}Th, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{210}Tl, ^{210}Pb, ^{210}Bi 等六種，其餘的原子核以阿伐衰變爲主。

【親元素】（Parent element）

在放射衰變之過程中，一元素之原子核如因放出α或β粒子而成一新原子，則此等元素稱爲親元素，此等元素之原子稱爲親原子（*parent atom*），變化產物則稱爲子元素（*daughter element*），子元素之原子稱爲子原子（*daughter atom*），例如鐳（*Ra*）爲親元素，放出一α粒子生成之氡則爲子元素。貝他衰變後之產物，其質量數未生改變，故子元素與親元素之質量相同。凡質量數相同之元素稱爲同量異位素（*isobar*）。

【親和性】（Affinity）

電子附於實體上的力。

【諧波】（Harmonic）

一種諧振盪，其頻率爲另一稱爲基頻振盪的整數倍。諧波的次數表示其頻率爲基頻的多少倍（例如三次諧波，即是說諧波振盪的頻率是基頻的三倍）。任何一個不是諧波的（即非正弦形狀的）週期性振盪都可能是若干諧振盪（基頻與一系列諧波）相加的結果。這種振盪的形狀

與正弦波相差越大，則其所含的諧波便越多。

【諧波分析器】(Harmonic analyzer)

這是用來研究某種振盪的頻譜的儀器。諧波分析器的作用原理，是（借助於窄帶濾波器）將組成某一振盪的各種不同頻率的諧波振盪分離出來。同時，諧波分析器通常總是將被研究振盪所分解成的全部諧波振盪的幅度立即指示出來（最常見的是顯示於陰極射線管的螢光屏上）。諧波分析器用來研究各種聲音的頻譜組成，研究各種非線性失眞的性質等。

【諧波抑制】(Harmonic suppression)

在振盪中減小非線性工作範圍，輸出的諧波部分將被抑減。

【諧波產生器】(Harmonic generator)

電子管產生之交流電內含幾個強力諧波者。

【諧波量】(Harmonic content)

輸出之基頻中含有之諧波數或程度。

【諧波失眞】(Harmonic distortion)

信號波形改變原有面目，因諧波成分滲入原來信號中，而諧波的形成，是信號經過一電路，其電流電壓之特性有非線性存在。

【諧和】(Harmony ; Consonance)

凡頻率比數可以較小整數表示之兩音，如同時發生，則其所引起之感覺，特爲愉快，此等愉快感覺叫做諧和。至於兩音之頻率相差不多，其所引起之感覺，能否悅耳，則視其拍音之頻率而定。

【諧和行進波】(Harmonic travelling wave)

諧和行進波是在 $z=0$ 點加一諧和振動（ *harmonic oscillation* ）所產生的。如圖 16 — 55 所示，在 $z=0$ 點施一頻率爲 ν 的諧和振盪力（如掛在一振動的彈簧上），使 $z=0$ 點的位移爲諧和變化，即

$$\Psi(0,t)=A\cos 2\pi\nu t$$

因之即產生一諧和行進波向右邊行進；繩上各點的運動是 $z=0$ 點運動的重複，只是發生的時間比 $z=0$ 點爲遲。因爲 $z=0$ 點的最大位移爲 A，故當諧和行進波進行時，任何一點的最大位移亦是 A，這個最大位移稱爲波動的振幅（*amplitude*）。並且任意 z 點在時間 t 的位移必與 $z=0$ 點在時間 $t-\frac{z}{v_\varphi}$ 的位移相同，也就是說如果在位置 $z=0$ 的點有一運動位移，要經過 $\frac{z}{v_\varphi}$ 的時間，在位置爲 z 的一點才能有相同的位移，所以

$$\Psi(z,t)=\Psi(0,t-\frac{z}{v_\varphi})$$

$$=A\cos 2\pi\nu(t-\frac{z}{v_\varphi}) \quad (1)$$

此式也可被改寫爲

$$\Psi(z,t)=A\cos 2\pi\frac{\nu}{v_\varphi}(z-v_\varphi t) \quad (2)$$

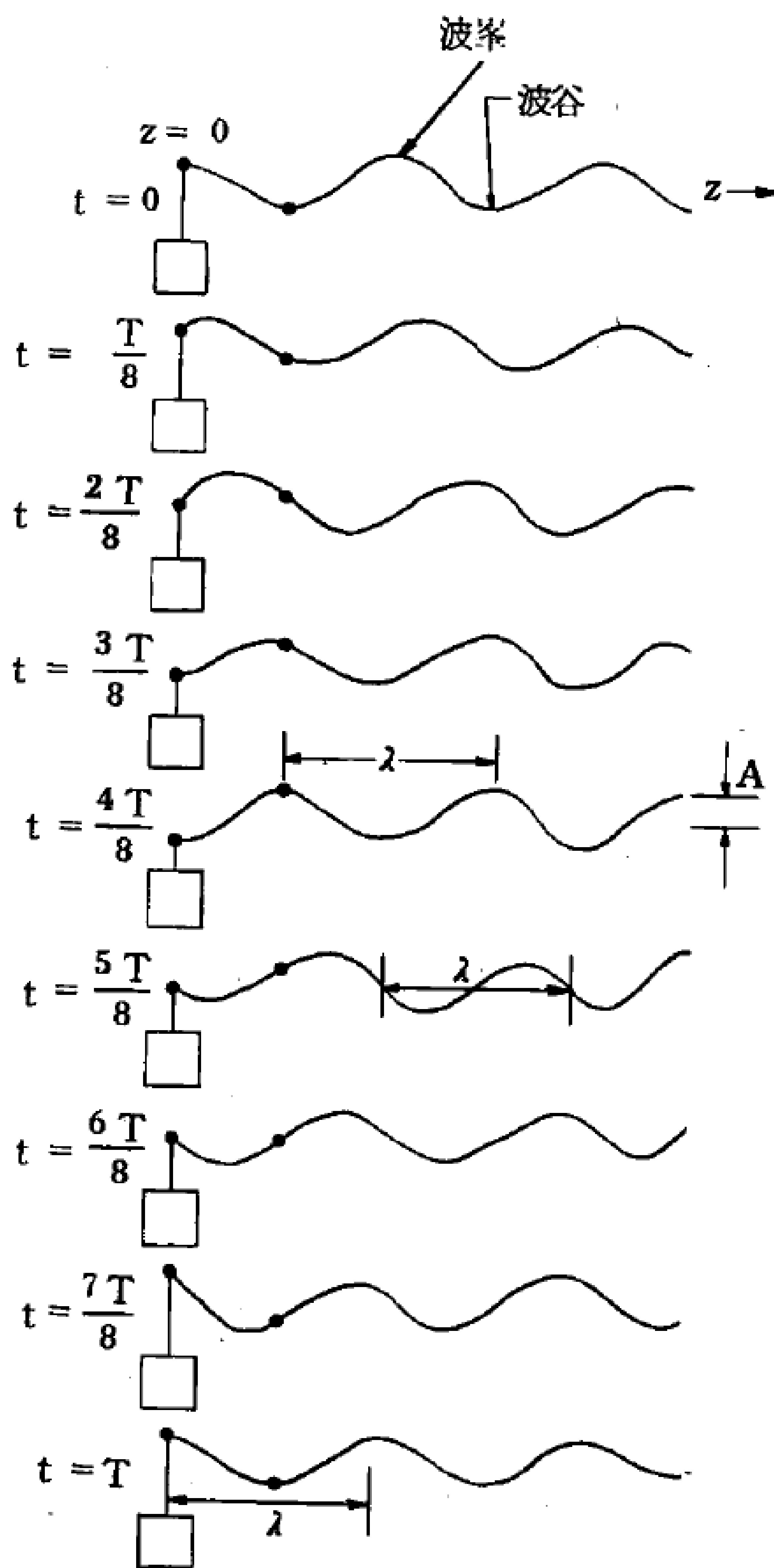


圖 16 — 55

z = 0 點作一諧和振動所產生的行進波

（1）或（2）式爲諧和行進波的波動函數，再看圖16 — 55，當波源振動一次，介質的各點亦振動一次，故行進波的頻率（即介質的振動頻率）與波源的頻率相同；亦即週期 $T=\frac{1}{\nu}$ 相同。我們並且可以發現，

當波源振動一週期後，波行進了 λ 長的距離，此 λ 稱爲波長，其定義由圖 16 — 55 很顯然的可以看出來。而得如下之關係式：

$$\lambda = v_\varphi T = v_\varphi \frac{1}{\nu}$$

即

$$v_\varphi = \lambda \nu$$

設 $\kappa = \dfrac{2\pi}{\lambda}$，$\omega = 2\pi\nu$，則

$$v_\varphi = \frac{\omega}{\kappa}$$

而（ 2 ）式可被改寫爲

$$\Psi(z, t) = A\cos\omega\left(t - \frac{\kappa z}{\omega}\right)$$

$$= A\cos(\kappa z - \omega t) \qquad (3)$$

$\kappa = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ 稱爲波數（ *wave number* ）。

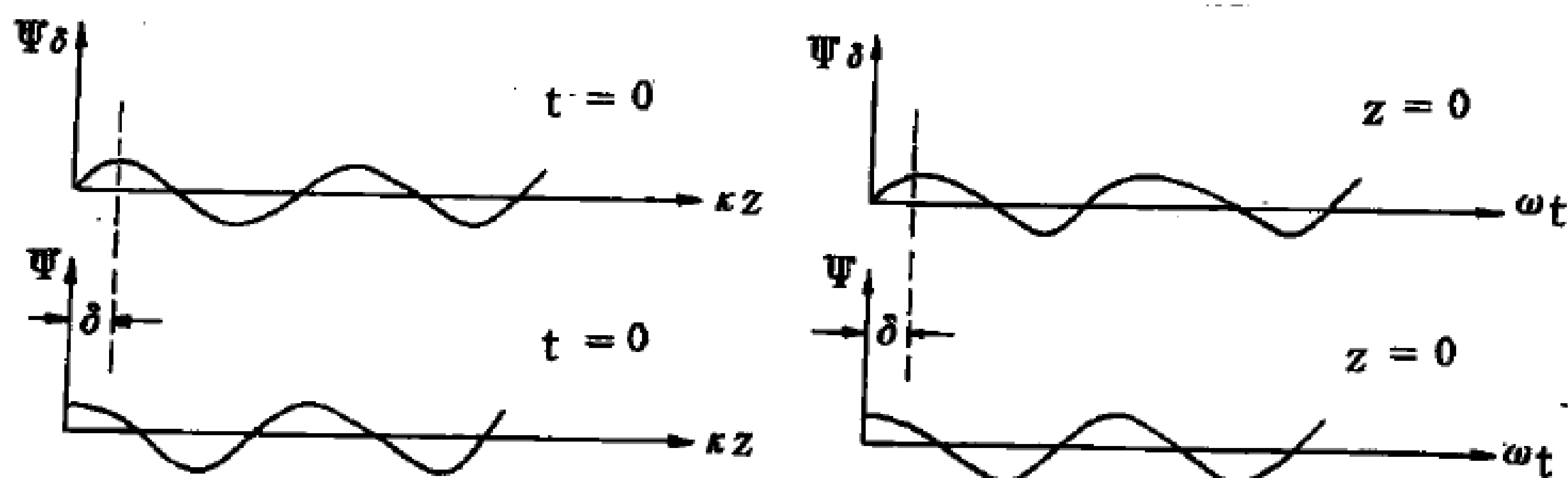


圖 16 — 56　相位相差 δ 之兩諧和波動函數的比較

行進波在傳遞時，如介質上的一點達最高位移 $+A$，則此點稱波峯；達最低點 $-A$ 者稱爲波谷。

假若，振動源的位置不在 $z = 0$ 而在 $z = z_0$，且振動不從時間 $t = 0$ 開始，而由 $t = t_0$ 開始，則利用相同的方法可以得到波動函數爲

$$\Psi(z, t) = A\cos[\kappa(z - z_0) - \omega(t - t_0)]$$

但 $\kappa z_0 + \omega t_0 = \delta$ 爲常數，故可改寫爲

$$\Psi_\delta(z, t) = A\cos(\kappa z - \omega t - \delta)$$

δ 稱爲相常數（ *phase constant* ），此 δ 並不影響波動函數的性質，其特性與（ 3 ）式同，只不過差一相位而已，如圖 16－56。

【諧和運動】（ Harmonic motion ）

又稱週期運動，一般的諧和運動則指在運動過程中，某些變數（例如角位移）隨時間作正弦式變化的運動；即是該變數的行徑可用下方程式表示者

$$x = A\sin(\omega t - \delta)$$

式中 A、ω 及 δ 均爲常數。

二維簡諧運動可看成是兩個一維簡諧運動的合成；即

$$x = A_x \sin(\omega_1 t)$$

及

$$y = A_y \sin(\omega_2 t + \delta)$$

其軌跡即如圖 16－57所示。圖中各小圖的中心點爲平衡位置 $x = 0$，$y = 0$；x 坐標的極大值爲 A_x，y 方向爲 A_y。第一列各圖爲 $\delta = 0$ 時的狀況，第二列爲 $\delta = \pi / 4$ 時的狀況，餘類推。各行表示 ω_2 / ω_1 的某一比值時之情況。這些圖形稱爲利薩如圖形（ *Lissajou's figure* ），在陰極射線示波器的鉛直及水平偏向板上，加以正弦型交流電壓，管中電子便依利薩如圖形而運動，於是在螢光幕上呈現這種圖形。

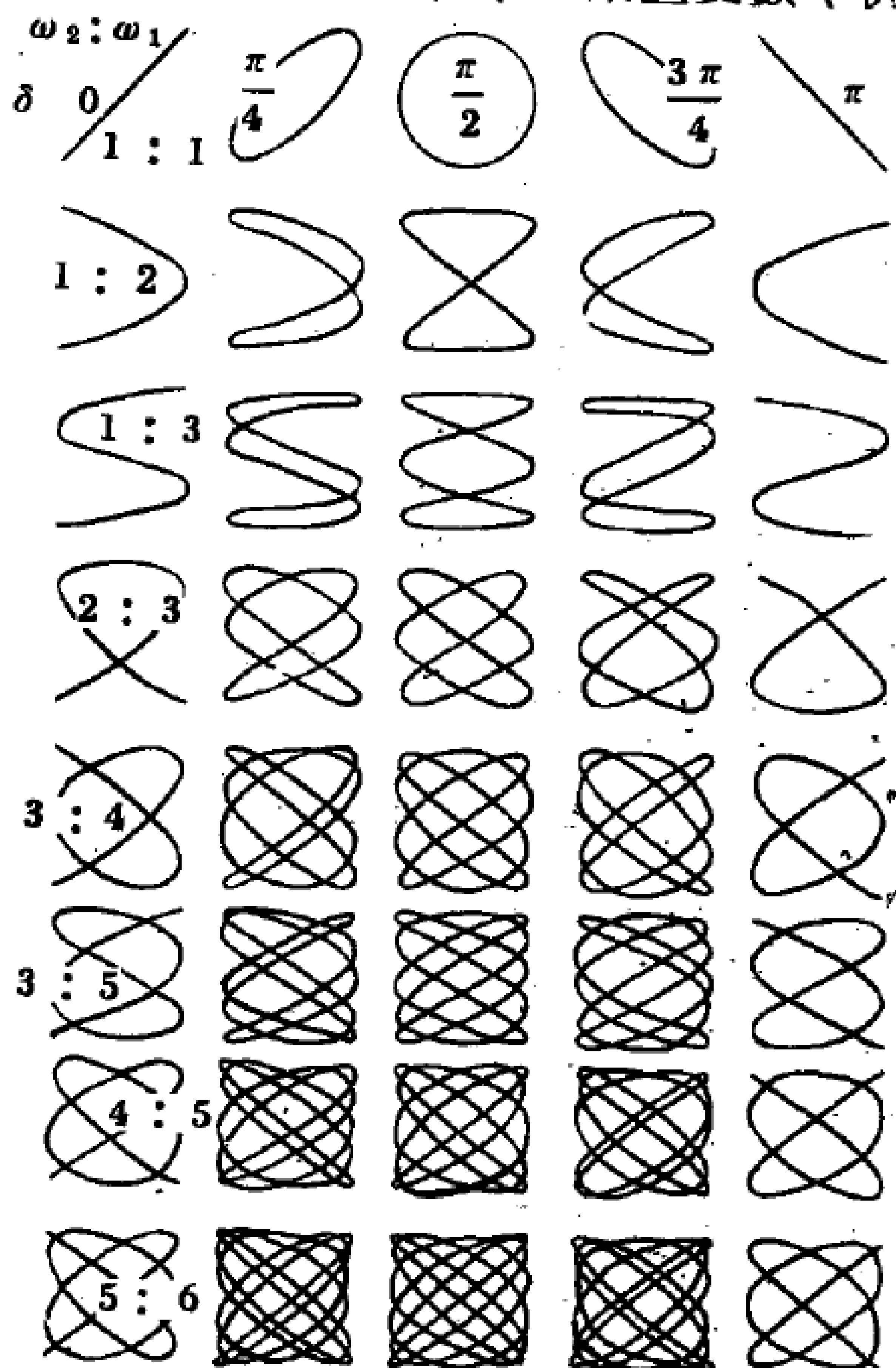


圖 16－57　利薩如圖形

【諧音】（ Harmonics ）

頻率爲基音整數倍的泛音，因此音與原音齊鳴，甚感和諧故稱諧音。固定弦之兩端，彈之，則全部成一區振動，此振動謂之原振動；所發之音，謂之基音，其波長等於弦長之二倍。若抑弦之中央，彈之，則中央生節點，弦分爲二區振動，其振動數等於原振動之二倍；波長等於各區之長之二倍。又分爲三區、四區振動時，其振動數等於原振動之三、四倍。此等振動，謂之倍振動。所發之音，即爲諧音。我們不僅能使弦依其全長振動，且能使其各依 2 等分、3 等分、4 等分、5 等分……振動；此時即可得到基音之各泛音。

根據弦音計之實驗，半弦長所發者爲基音之高八度音。如再按三分之一、四分之一、五分之一弦長拉奏，則基音頻率與所得各音之頻率將形成 1：3；1：4；1：5 諸比。此種在頻率方面與基音具有簡單整數比之音，稱爲基音之諧音。

不僅弦有諧音，其他發音體，振動時，亦均發諧音。發音體之音色，所以各不相同，均由於諧音之作用。

【諧振天線電路】(Resonant line circuit)

發射天線接上線圈及電容器對發射頻率諧振。

【諧振指示器】(Resonance indicator)

使用電表或氖燈觀察電路是否諧振之裝置。

【諧振電路】(Resonance circuit)

由於天線線圈中有各種廣播電臺的射頻交流通過，所以必須選擇所希望要的頻率，這種事情叫諧振，具有這種作用的電路叫諧振電路。這種電路是由線圈與電容器構成。

當有高頻電流經過天線時，因電磁感應而在諧振線圈中也有高頻電流通過。這時，在天線與地線電路中，雖有各種頻流振盪電流通過，可是，在諧振電路中，由於線圈與電容器的作用，只有某一種固定頻率的振盪電流通過特別多，這種現象叫電振盪。某一特定線圈和特定電容器僅

能諧振一個頻率，改變調諧電路中的電感或電容值均可改變諧振頻率。瞭解此特性，就容易明白諧振電路如何選擇電臺。事實上沒有一個調諧系統是完美的，和諧振頻率很接近的信號亦將進入收音機，到達揚聲器。不過收音機調諧的頻率信號，其聲音略比其他頻率爲強。

在射頻放大器的選擇性，是由它的調諧電路決定的。如調諧電路中線圈的電阻比它的電抗愈低，則選擇性愈高，線圈的選擇性通常以Q來表示，它等於線圈的電抗除以電阻。

【諧振微擾】（Harmonic perturbation）

簡諧運動的微擾，在與時間有關的微擾中，簡諧振動的微擾是一典型，這種微擾的漢彌頓$H'(t)$形式爲

$$H'(t)=H'\ \sin\ \omega t$$

由此微擾所引起的躍遷，其機率的計算，是與時間有關的微擾法的範例，實際的物理現象都是這種情形，因此應用很廣。

在與時間有關的微擾法中，將總漢彌頓H寫爲 $H_0+H'(t)$，且已知

$$H_0U_n = E_nU_n$$

則薛丁格方程式（*Schrödinger equation*）的解爲

$$i\hbar\ \frac{\partial}{\partial t}\psi=H\psi$$

$$\psi=\sum_n a_n(t)\,U_n\,e^{-iE_n t/\hbar}$$

可以利用級數展開（詳與時間有關的微擾法）爲

$$a_n(t)=a_n^{(0)}+\lambda a_n^{(1)}+\lambda^2 a_n^{(2)}+\cdots$$

式中λ爲參數，代入薛丁格方程式後$a_n^{(1)}$的解爲

$$a_n^{(1)}(t)=(i\hbar)^{-1}\int_{-\infty}^{t}\langle n\,|\,H'(t')\,|\,m\rangle e^{i\omega_{nm}t'}dt'$$

式中的ω_{nm}爲$\omega_{nm}\equiv(E_n-E_m)/\hbar$。

假設諧振微擾的時間是自零至t_0，則單位時間的躍遷機率爲

$$\omega = \frac{1}{t_0}\int |a_n^{(1)}(t \geq t_0)|^2 \rho(n) dE_n$$

$\rho(n)$爲終態 n 的能量密度。將 $a_n^{(1)}$ 的結果代入此式，結果得

$$\omega = \frac{2\pi}{\hbar}\rho(n)|\langle n | H' | m\rangle|^2$$

這是費米（*Fermi*）第二黃金律，應用極廣。

【諧振體】（Harmonic oscillator）

受擾動即進行諧和振盪的系統稱爲諧振體，又稱諧振元。如圖 16－58，一物體繫於彈簧上，在無摩擦面上來回滑動。產生諧振（又稱爲諧和運動）的原因在於系統內會因擾動的應變，而生成與應變成比例，但方向相反的應力；例如一維諧振體中，應力 $F = -kx$，x 爲相對於平衡位置的位移。

只受上述線性回復力作用時，運動方程式爲

$$m\ddot{x} = -kx$$

可寫成

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

式中角頻率 $\omega_0 = \sqrt{k/m} = 2\pi \times$ 頻率。此方程式的解爲

$$x = A\sin(\omega t - \delta)$$

δ爲相角，由 $t = 0$時選取的 x 值決定之；A爲振幅，與總能量有關，即總能量$E = \frac{1}{2}kA^2$。

許多物理系統具有上述運動方式，例如遵從虎克定律（*Hooke's law*）的彈簧、振幅不大的擺等。此外，亦有二維或三維諧振體，其行徑則分別如兩個或三個一維諧振體的合成，但各維的運動互相正交。

上述爲理想狀況，在眞實情況中則常有阻滯出現，若阻滯力爲$-b\dot{x}$，則振幅會隨時間成指數式的衰減，即成爲$Ae^{-\beta t}$，$\beta = b/2m$；且頻率變爲$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$。

若另有外加策動力 $B\cos\omega t$ 作用於其上時，即稱爲強迫振盪，這時的振動有瞬時效應部分及穩定狀態部分：前者即如前述阻滯振動，會隨時間消失；後者爲 $t \gg 1/\beta$ 時的主要行徑，振幅爲 $B/\sqrt{(\omega_0^2-\omega^2)+4\omega^2\beta^2}$，振盪部分爲 $\cos(\omega t-\delta)$，$\delta=\tan^{-1}[2\omega\beta/(\omega_0^2-\omega^2)]$。由此可知，當外加策動力的頻率 ω 與系統的自然頻率 ω_0 相等時，振幅爲最大，稱爲共振。

在量子力學中，對諧振體的討論如下：

如果一物體的位函數爲 $\frac{1}{2}kx^2$，簡諧運動角頻率爲 $(k/m)^{\frac{1}{2}}$。此問題在量子力學中，可以用波動方程式或代數的方法求得其解。其薛丁格方程式（一維）爲

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}U_n(x)+\frac{1}{2}kx^2U_n(x)=E_n U_n(x)$$

解此微分方程式，得

$$U_n(x)=N_n e^{-\frac{1}{2}\xi^2}H_n(\xi)$$

$$E_n=(n+\frac{1}{2})\hbar\omega_c \quad (n=0, 1, 2, \cdots)$$

式中 $\omega_c=(k/m)^{-\frac{1}{2}}$，$\xi=(mk/\hbar^2)^{-\frac{1}{4}}x$，$H_n(\xi)$ 爲厄米特多項式。最顯著的特性乃其能量是不連續的能階，最低能量爲 $\frac{1}{2}\hbar\omega_c$，其次爲 $\frac{3}{2}\hbar\omega_c$，$\frac{5}{2}\hbar\omega_c$，……$\frac{5}{2}$。寫成行列的形式，則爲

$$H_{diag}=\begin{pmatrix} \frac{1}{2}\hbar\omega_c & 0 & 0 & 0 & \cdot \\ 0 & \frac{3}{2}\hbar\omega_c & 0 & 0 & \cdot \\ 0 & 0 & \frac{5}{2}\hbar\omega_c & 0 & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \frac{7}{2}\hbar\omega_c & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix}$$

此問題的應用極廣，如分子或晶體的振動，原子核的構造（殼層模型）

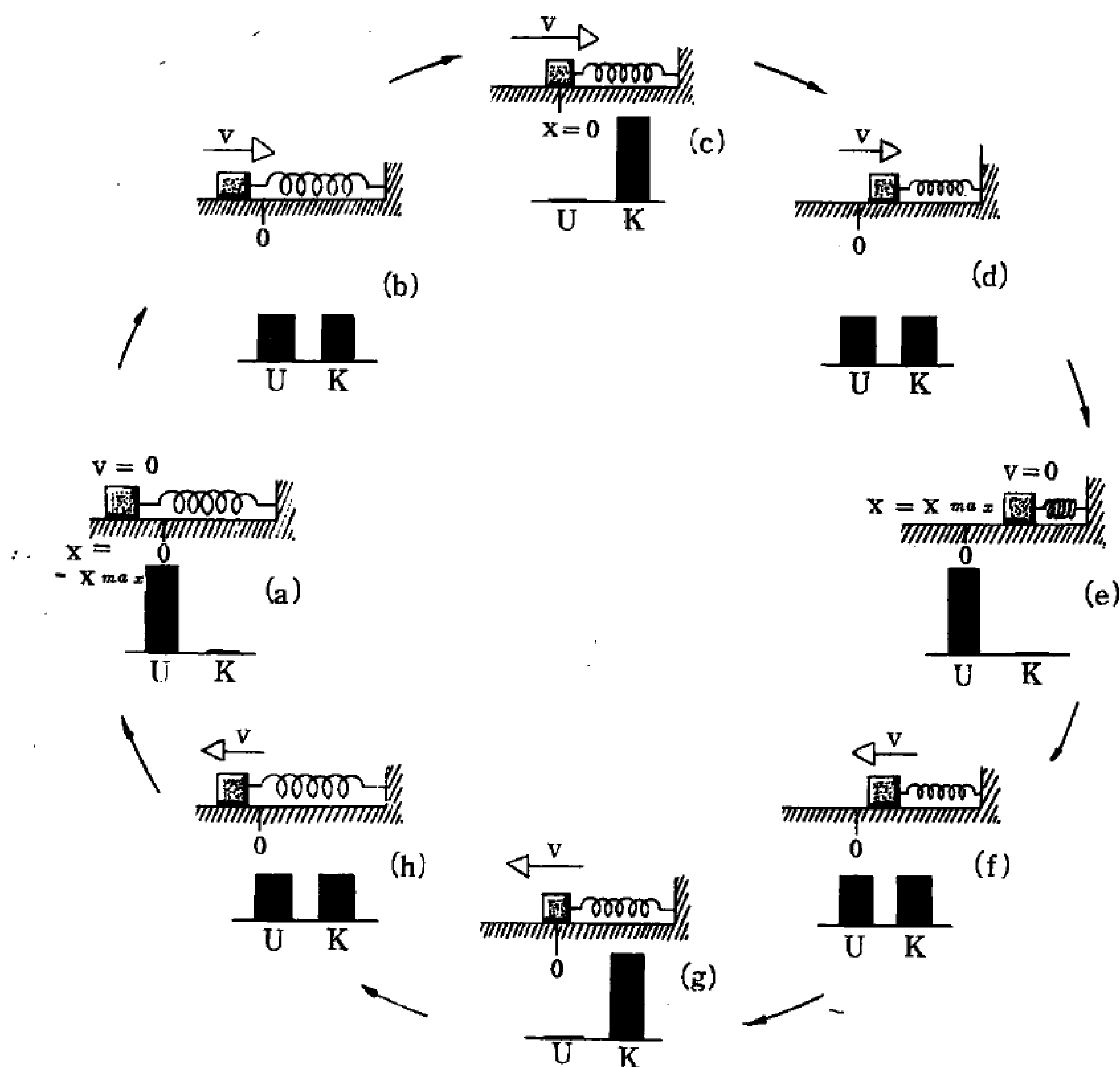


圖 16—58

等等，是為物質結構最基本最普遍的模型。

【諧振橋】（Resonance bridge）

阻抗橋之一，用以測量電路上電阻與感抗的連合阻抗。

【諧振頻率】（Resonant frequency）

串聯諧振電路，諧振頻率之電流最大，並聯諧振電路，跨過電路之電壓以諧振頻率最大。

【諧振盪】(Harmonic oscillation)

就是正弦振盪，即振盪值，例如對平衡位置的偏離及交流電路中的電壓等，是按正弦律而變化的振盪。

【諧頻】(Harmonic frequency)

指基頻之外某諧波的頻率。

【諾海定則】(Norheim rule)

爲一種配合殼層模型 (*shell model*) 以求奇奇原子核 (*odd-odd nuclei*) 基態之自旋 J 值的經驗耦合定則 (*coupling rule*)。

在諾海定則中，定出一數目 $N = j_p - l_p + j_n - l_n$，式中 l 和 j 分別表示單粒子軌道角動量及總角動量，p 和 n 分別表示奇數的質子和中子。此定則說明如下：

如 $N = 0$，　則 $J = | j_n - j_p |$

如 $N = \pm 1$，則 $J = | j_n - j_p |$ 或 $j_n + j_p$

此定則應用於相當廣泛的奇奇原子核至爲成功，但也有例外的情形。

【諾瑟定理】(Noether's theorem)

如果代表某一種 (或所有) 交互作用的拉格朗密度 (*Lagrangian density*) 對某種連續的變換 (通常和整個系統的某種對稱性有關) 不變，則此交互作用必須服從一對應某種守恆律。例如所有交互作用 (重力、電磁力、核力、弱交互作用) 均對空間和時間的位移不變，由諾瑟定理可導出動量和能量守恆律，對一固定點的轉動不變可導出角動量守恆律，強交互作用對同位空間轉動不變可導出同位旋 (*isotopic spin*) 在強作用時守恆。

【蹄形電磁鐵】(Horseshoe electromagnet)

是一個蹄形鐵芯線圈，供以電流時卽生強磁。

【蹄形磁鐵】(Horseshoe magnet)

中部彎曲，兩端齊平，略似馬蹄形狀之磁鐵。蹄形磁鐵可以看做是

由磁棒彎曲而成。

磁鐵上磁性最強的兩端，稱爲磁極。其中指北方的一極是北極或N極；指南方的一極是南極或S極。同名的磁極相斥；異名的磁極相吸。

【輻射】（Radiation）

凡熱不依物質爲媒介，而由熱源直射而來的現象，叫做輻射。陽光之下，火爐之旁，均感到熱浪及身，乃係輻射而來。在物理學上觀之，輻射是由波或粒子（*wave or particle*）所形成的，事實上所有的波都有一些粒子的性質，並且所有的粒子也有一些波的性質。因此在一般情況下論及輻射是波動或是粒子時是多少有些混淆不清的。通常分爲兩大類：卽粒子輻射及電磁輻射。

輻射現象是物中熱能轉變爲電磁輻射，而落在物體上又轉變爲熱能，物體單位面積釋出輻射的速率W和它本身及四周溫度差的四次方成正比，卽$W \propto (T_2 - T_1)$ 。

輻射能的波長除有普通的無線電波、紅外線、可見光波、紫外線以至X射線、γ射線等電磁波，還包括電子、正子、中子、質子、微子等粒子束。

【輻射化學】（Radiation chemistry）

化學裏的一個支門，研究關於帶有能量的輻射或粒子和物質間發生的化學作用，包括分解作用。

【輻射生物學】（Radiation biology）

詳閱“放射生物學（*Radio-biology*）”條。

【輻射平衡】（Radiative equilibrium）

設輻射通過一恆星，使該一恆星成爲一個能之交換器時，則吸收與再輻射在每一部均保持定率及適當溫度，此現象稱爲輻射平衡。

【輻射污染】（Contamination）

鈽及氧化鈽等放射性物質，散落在不必要的地方，而致使該處人、

畜受到傷害。

【輻射自發射】(Spontaneous emission of radiation)

若一原子在較高能階 j，則可能自行發射頻率爲 ν 的光子而降至較低能階 i ，ν 與此二能階能量的關係爲 $\nu = (E_j - E_i)/h$，此種放射稱爲輻射自發射。假使以頻率 ν 之光照射此原子，也能誘使此原子放射出能量 $h\nu$ 之光子，這是翼射（*maser*）與雷射（*laser*）的基本原理。由能階 j 躍遷至能階 i 機率爲

$$P_{j\to i} = \left(\frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{ij} \right) (N_\nu + 1)$$

式中 B_{ij} 爲誘導發射係數，N_ν 爲平均光子數。在上式右端第二括號內，N_ν 項屬於誘導發射部分，而 1 之項則屬自發射部分。

【輻射吸收】(Absorption of radiation)

使電磁波（*electromagnetic wave*）通過物質時，可改變物質中各種粒子；如電子、原子核等的運動狀態而被物質吸收。例如無線電波及微波可改變原子核及電子的自旋狀態，微波及遠梢紅外線（*far infrared*）可改變分子的轉動狀態，紅外線可改變原子核的振動狀態，可見光、紫外線及 X 射線可改變原子分子的電子狀態，γ 射線可改變核中粒子的狀態而爲物質所吸收。由輻射吸收的情形，可推斷物質內各種粒子的運動狀態，以研究物質的微觀及巨觀性質。

【輻射抗阻】(Radioresistance)

物質之相對阻力，特別是有機體或有機組織對於輻射傷害效應之阻力，稱爲輻射抗阻。

【輻射燒傷】(Radiation burn)

輻射對皮膚的傷害。如 β 燒傷是由於皮膚接觸或曝露於 β 粒子的放射體中。燒傷卻是由於突然曝露於熱輻射下。

【輻射防護】(Radiation protection)

是指爲了保護實驗室或工廠之工作者免於遭受輻射的危害所做的立法和規章。也指用以減低輻射曝露所做的測量。

【輻射防護守則】(Radiation protection guide)

由權威性所規定的輻射劑量，當所受的劑量會超過此量時，則必須嚴重考慮爲什麼要這樣做這種工作。這些標準，是由聯邦輻射議會 (*Federal Radiation Council*) 所訂的，相當於以前所謂的最大許可劑量或最大許可曝露。

【輻射阻滯】(Radiation damping)

是準靜束縛 (*quasistatically bound*) 的電荷由於對電荷的輻射反應，使電荷的簡諧運動 (*simple harmonic motion*) 振幅逐漸減小，在電荷的運動方程式中，必須包含阻滯項，此項與電荷的速度成正比，但與運動方向相反。

【輻射治療】(Radiation therapy)

利用任何一種輻射來治療疾病。通常稱爲輻射治療。

【輻射計】(Radiometer)

用於檢查及量度電磁輻射之儀器。在電波天文學上之電波遠鏡常被稱爲輻射計。

【輻射計算器】(Radiation counter)

使用電子擴大作用，當核子輻射通過時，產生有聲反應之裝置。或用機械記錄器，對通過之輻射指示數量之裝置，稱爲輻射計算器。

【輻射能】(Radiant energy)

由物體發射出之波或輻射時之能稱爲輻射能，包括光、熱、紅外線、紫外線及其他各種形式之能等。

【輻射病】(Radiation illness)

由於接受相當大量的游離輻射劑量後所產生急遽的器官疾病。最顯著的特徵是噁心、嘔吐、腹瀉、血球改變，接著就出血和頭髮脫落。

一般而言，高能量輻射會損壞細胞內複雜的分子，並且會干涉其化學機構，甚至到某種嚴重的情況時，會殺害細胞。於是，由於癌症不能以外科的手術刀安全地達到治癒的目的，故常常曝露於高能量的輻射，以期癌細胞能依此方法很有效地被殺死。

基因與染色體精緻的構造在碰到高能量輻射時，特別容易被傷害，染色體能被此種輻射破壞，而使細胞死亡。即使一個細胞沒有完全被輻射所殺死，然而由於受到了傷害以至於不能進行複製及有絲分裂。

人類就有很多的組織，其細胞必須終生不斷地進行細胞分裂，如毛髮與指甲，由於它們根部細胞分裂的結果，故不斷地生長。皮膚的外層因磨損而脫落，且由較深層不斷地細胞分裂取而代之。在口腔、咽喉、胃及腸的輪廓線亦有相同之現象。血球也是不斷地被破壞，並以很多數目的新血球來代替。

假如輻射僅破壞一部分細胞的分裂機構，那麼所留下的那些完整的細胞能進行分裂，並且可以取代那些不能再分裂細胞的任務。在這種情形之下，則輻射疾病的症狀在起初會比較緩和，最後可完全消失。

當太多的細胞不能分裂而超過了某一精密的臨界點時，就不再有上述的可能。假如症狀特別數顯示於正在生長的組織時（像脫髮、指甲的不正常生長或脫落、皮膚的變赤及出血、口的潰爛以及血球總數的降低），則這種症狀會蔓延得更加厲害，接著帶來了死亡。

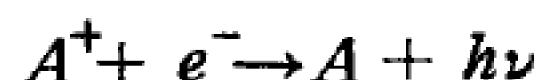
參閱“游離輻射（*Ionizing radiation*）”條。

【輻射修正】（Radiative correction）

輻射修正乃場論經量子化後計算的結果與未量子化的結果之差。例如電子反常磁矩（*electron anomalous magnetic moment*）、拉目移動（*Lamb shift*）、電荷再歸一化時的自電荷等。特指電磁場與粒子的交互作用。

【輻射捕獲】（Radiation capture）

此為光電離之相反過程，在輻射捕獲中，一離子捕獲一動能為 E_k 的電子，使其變為束縛態，並發射一光子，此即



$$A^{+} + e^{-} \rightarrow A + h\nu$$

光子的能量為　　　　$h\nu = E_k + I$。

【輻射個體效應】(Somatic effects of radiation)

僅限於曝露個體的輻射效應，以資與遺傳傳效（也會影響沒曝露的下一代）區別。高輻射劑量能致人於死，較低的劑量可能造成個體很明顯的疾病，可能僅產生只有在實驗室才測得出的暫時性的血液（血球比數）的改變，或可能產生其他任何測量不出的效應。此效應也稱為輻射生理效應。

【輻射率】(Radiant rate)

物體的熱輻射發射率與溫度及表面的性質有關。每單位面積的總輻射率，叫做該物體的輻射率。例如，鎢（W）在 2,177°C 時的輻射率是 50 瓦特／厘米²。輻射能由各方向均等地入射於物體上時，我們稱該輻射為各向同性的（*isotropic*）。有些輻射會被吸收；有些被反射；有的則透過物體。一般情形是，各種波長的各向同性入射輻射被吸收的比率，與那吸收體的溫度及表面的性質有關，這比率叫做吸收率（*absorptivity*）。鎢在 2,477 °C 時之吸收率約為 0.25。綜述之

輻射發射率 $= R =$ 每單位面積的總輻射率

吸收率 $= \alpha =$ 各向同性輻射總能量被吸收的比率

【輻射帶】(Radiation belt)

參閱“范艾侖輻射帶（*Van Allen radiation belt*）”條。

【輻射帶寬】(Radiation width)

輻射時原子、分子或原子核射束中組成粒子的速度或其對應之波長的範圍大小。

【輻射強度】(Radiant intensity)

輻射體單位面積的輻射能量。

【輻射區域】(Radiation area)

任何可接近的區域，其輻射強度超過人體重要部位所能接受照射的每小時 5 毫侖目的劑量，或任何連續 5 天超過 150毫侖目的劑量。

【輻射通量】(Flux of radiation ; Radiation flux)

輻射能通過一既定表面及方向而形成射束。輻射通量則爲單位時間沿射束經過之總能量。

【輻射偵測】(Radiation mornitoring)

在某區域，對輻射量不停的或週期性的測定。

【輻射屏蔽】(Radiation shielding)

爲減少輻射強度，可於輻射源與人，實驗區域或對輻射敏感的裝置之間插入吸收輻射的材料。這種裝置在反應器中，是重要和必要的措施。因爲，我們必須遮擋在分裂中所產生危害人體的那些輻射能。屏蔽裝置有二種。一種可以稱爲內部屏蔽或熱屏蔽，通常由鋼襯組成，大半裝設在高功率的動力反應器中，目的在防止反應器外殼受輻射損害。另外一種則稱爲外部屏蔽或生物屏蔽，是幾呎厚高密度的水泥牆，用來防護工作人員的安全。

【輻射探測器】(Radiation detector)

探測和記錄游離輻射特性的裝置。最簡單的一種輻射探測器是普通的照相膠片，它在輻射的照射下會感光而變黑。日常所使用的是用照相膠片製成膠片章的型式，佩掛在身上，可以測算出工作人員在原子能裝置內工作期間所受輻射照射的總累積量。其他型式的探測器，諸如蓋革計數器 (*Geiger counter*) 、比例計數器 (*proportional counter*) 、閃爍計數器 (*scintillation counter*) ，是用來探測原子輻射的存在和量度其強度的大小。這些儀器就像它們的名字一般，可以用來計數

每一個個別輻射粒子或其單位。這種儀器通常是置放在原子能裝置內及其四周，用來探測和監察輻射的程度。

【輻射場】（Radiant field）

電磁場隨γ^{-1}（γ為場點與源點的距離位）衰減是為輻射場，其表現為電磁波。

【輻射測量法】（Radiometric measurement）

使用檢溫器（熱電偶 *thermocouple*）測量月球或恆星表面溫度之方法。

【輻射源】（Radiation source）

輻射源通常是指用在遠離居里治療、放射治療、電池的動力源，或各種不同型式的工業樣板等，一種人造密封的放射性本源。其他如加速器、放射性同位素發生器和天然放射核種也可以認為是輻射源。

【輻射感受性】（Radiosensitivity）

物質之相對感受性，特別是有機體或有機組織對於輻射之傷害感應稱為輻射感受性。

【輻射過程及非輻射過程】（Radiative and nonradiative processes）

在原子、分子及晶體系統中電子可經由各種不同方式激發至其受激態，例如吸收紫外光、*X*射線、放射線、通電流、眞空放電、加熱等等。在受激態的分子並不穩定，往往會放出光（螢光或燐光）而返回基態或能量較低之受激態，這是輻射過程。但在輻射系統的輻射效率，即輻射光子數與受激態分子數之比常小於一，因有一部分受激態分子以不放光的變化即非輻射過程失去其激動能。

分子中非輻射過程約有下列數種：

1. 分子與鄰近分子碰撞。

2. 分子中的電子能量轉變為轉動或振動能，在轉變過程中，若電

子狀態的總自旋不變，稱爲內變換（*internal conversion*）；若電子狀態的總自旋改變，則稱爲系統間穿越（*intersystem crossing*）。

3. 受激態分子不穩定而分解或進行其他光化學反應。

【輻射與突變】（Radiation and mutation）

若輻射量不足以使一個細胞分裂到不能分裂的程度時，它仍可以引起突變，而導致皮膚癌、血癌及其他疾病的產生。

當然，生殖細胞內也能夠引起突變；並且當此現象發生時，不僅是曝露於輻射的個體受到影響，就是其後代也會受到影響。誠然，凡是牽涉到生殖細胞之突變者，則本來是比較緩和的突變效應就會比劇烈的不分裂現象更爲嚴重。例如，一個不能分裂的受精卵最後只是整個受精卵的死亡而已並不會造成損害；但是一個能夠分裂的受精卵若遭遇到突變，則會產生在身體上或大或小的缺陷。

1927 年，牟勒（*Müller*）首先以實驗證明了高能量輻射在遺傳機構上的影響。以果蠅做實驗的結果，他表示：在接受大量 *X* 射線之後的果蠅，其每個染色體會比不曝露於放射的同樣的果蠅遭受到更多的致命突變。他所觀察到的此種顯著的不同點立刻證明了輻射與突變的關係。而且突變數與輻射的吸收量成正比例，即加倍輻射的吸收量，會使突變數加倍。輻射所引起的突變效應是沒有一低限（*threshold*）可言的，亦即輻射量再小也會引起微量的突變，輻射量是無最低界限可言。

只要人爲的輻射存在，人類就難免吸收到一些輻射。在這現代社會裏，使用人爲輻射的益處如此大，我們就必須準備付出一些代價。從果蠅的實驗中得知，若曝露於輻射之總量到 100 雷得，則必使自然突變率增加到兩倍。那麼多的輻射和突變率的增倍，對人類而言，認爲是難忍受的。

【輻射線】（Radiant ray）

通常的光線以及熱線和化學線，總稱爲輻射線。

【輻射線處理法】(Radiation processing)

工業上所用之最大量放射性同位素，乃在輻射線處理時，作爲放射線源。從這些放射源出來的輻射線，可作許多用途，諸如化學反應催化劑、消毒醫藥用品以及保藏食物。大規模之輻射線處理，大多數是用鈷 - 60 這種放射性同位素。

在一些工業中，利用化學物品、熱能、壓力或催化劑等，引發化學反應，而將一些未加工之原料，變成有用的產品。有時利用放射線，可使化學反應之成本降低，且產品更佳。當然，所用之輻射線劑量，正如所用之熱能或壓力之大小，是需要作適度的調節的。當輻射線打擊化學物品時，小分子可能結合成大單元；若是大分子，則可能變形甚或分裂。

用γ射線製造溴化乙烯，將乙烯和溴化氫這兩種簡單的氣體放在一個大桶裏，在桶的中央擺一個鈷 - 60 的輻射源。它的輻射線，能含此兩種氣體結合成液體，再用管子將此液體導出桶外。這種方法，不但比以前所用者要經濟，而且產品要純得多。

可裝置一個放射源，用來造一種可被細菌破壞的清潔劑，如此，用過的洗滌水，就不會將陰溝、河流、自來水設備等阻塞住。化學家也正在研究用輻射線來造其他的化學藥品，其中包括用作火箭燃料的肼 (*hydrazine*)。

用輻射線改良紡織品品質的方法也正在發展中。用一小量的輻射線，就可改良毛織品這種很複雜的分子。若是用輻射線將棉花 (也是複雜的分子) 和簡單的有機物結合起來，就能改善所製成纖維的品質。

聚乙烯是一種很好的包裝塑膠，它常用來包裹食物，但一遇到熱就會縐縮下去。因爲普通的聚乙烯太柔弱、不耐熱，但假如用適量的輻射線將其處理過，則有些分子就會分裂，而與其他分子相結合，使得塑膠耐力增大。一支用輻射線照射過的塑膠所製的湯匙，縱使放在熱水裏，

也不會變形。

將羊毛浸在簡單的化學藥物中，然後用輻射線照射浸過的地方，化學分子就會結合在羊毛纖維的空隙處，形成塑膠，使得羊毛更為堅固而有用。同時，它的外表色澤並不改變分毫。亦可用放射線，將山羊毛消毒，以殺死炭疽熱的病菌。

在食品工業上，輻射線可應用於三方面：(1)可防止收穫的塊莖發芽，如馬鈴薯等。(2)可在穀物進倉庫前，減少昆蟲的數目。(3)將食物作巴氏法滅菌，也就是把食物中的大部分（但非全部）微生物殺死。有一些食品加工廠，將燻肉用輻射線照過後，就可不必冷凍而保存很久的時間。大部分的食品加工，都是以巴氏滅菌法的形式；那就是使食物受到足夠量的輻射線照射，以便保存數週甚或數月之久而不會腐敗。但此法並不是完全消毒，因為用完全消毒可能將食物的氣味都改變。

在醫院用品上，需要完全消毒。可用照射的方法來消毒皮下注射用的注射器、藥學上和手術所用的縫線。用輻射線消毒並不會損害到縫線表面的封套，可是若用蒸汽消毒法，就會損害到。

【輻射熱】（Radiant heat）

從熱源由輻射向四方傳達之熱，謂之輻射熱。

【輻射熱的傳遞】（Transmission of radiant heat）

兩個溫度不同的物體，不相接觸而經由輻射方式來進行熱的交換。例如，太陽輻射能通過廣大而近乎眞空的空間傳送到地球上來。就一般應用而言，在設計加熱器、鍋爐、裝液態氣體的眞空絕緣容器，以及人造衛星太空船時，都需要計算輻射熱傳送的問題。

兩塊粗糙、不透明材料所製成的平行板，放射度為 ϵ，各在 T_1、T_2 之下，並且假設平板延伸甚廣，以致邊緣的輻射損失可以忽略不計。可得到每單位表面積所傳送的輻射功率為：

$$W=\epsilon\sigma\left(T_1{}^4-T_2{}^4\right) \qquad (1)$$

或 $$W=\epsilon\sigma(T_1-T_2)(T_1+T_2)(T_1^2+T_2^2)$$

當溫度差 $\Delta T=T_1-T_2$ 比平均溫度 $\frac{1}{2}(T_1+T_2)$ 小很多時，上式可寫成

$$W=4\epsilon\sigma T^3\Delta T \qquad (2)$$

由此可知，此種熱傳遞與溫度差成比例，就和熱在固體材料中的傳導一樣。而 $4\epsilon\sigma T^3$ 對應固體傳導的情形，稱爲熱導性。但是在固體中的熱傳導性，並不隨溫度變化得很厲害的，而輻射熱傳導則是隨著溫度的三次方正變。

如果兩塊平行板，各有不等的放射度 ϵ_1，ϵ_2，那麼（1）、（2）式中的 ϵ 需被換成

$$\epsilon'=\frac{1}{\epsilon_1^{-1}+\epsilon_2^{-1}-1}$$

（1）式能被推廣應用到兩塊表面，而其中一塊是被包含於另一塊之中，例如，在中空的球中有另外一個球，或者一個圓柱體包含於另一個圓柱體；則從裏面物體（表面積爲 A_1）傳到外面物體（表面積爲 A_2）的輻射功率爲

$$W=\frac{\epsilon_1\sigma A_1(T_1^4-T_2^4)}{1+\epsilon_1(\epsilon_2^{-1}-1)A_1/A_2} \qquad (3)$$

這公式是由克里斯提遜（*C. Christiansen*）在 1883 年從克希何夫（*Kirchhoff*）及史特凡、波兹曼（*Stefan - Boltzmann*）的定理導出來的。如果爲同心圓，則 $A_1/A_2=r_1^2/r_2^2$，對同軸圓柱體（$1\gg r_1$，r_2），則 $A_1/A_2=r_1/r_2$。（3）式也能被用來計算通過眞空絕緣容器空間的輻射熱通量。

如果在兩個不是面對面相靠近，也無包容現象的物體間進行輻射能的交換，則其傳送量大小由幾何位置決定之。讓我們考慮在 A_1 及 A_2 輻射面上的兩個單元 dA_1、dA_2，它們的垂直方向與半徑向量 r 或 ϕ_1，ϕ_2

角（見圖 16 — 59 ），由點 1 對 dA_2 所張的固體角爲 $dW_2 = dA_2 cos\phi_2 / \pi r^2$，而從 dA_1 單元上所發射出的輻射，能被 dA_2 單元所截受之量爲：

$$dW_1 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 cos\phi_1 dA_1 dW_2$$

且

$$dW_2 = dA_2 cos\phi_2 / \pi r^2$$

所以對整個 A_2 面，則

$$W_1 = \epsilon_1 \sigma T_1^4 dA_1 \int A_2 cos\phi_1 cos\phi_2 dA_2 / \pi r^2$$

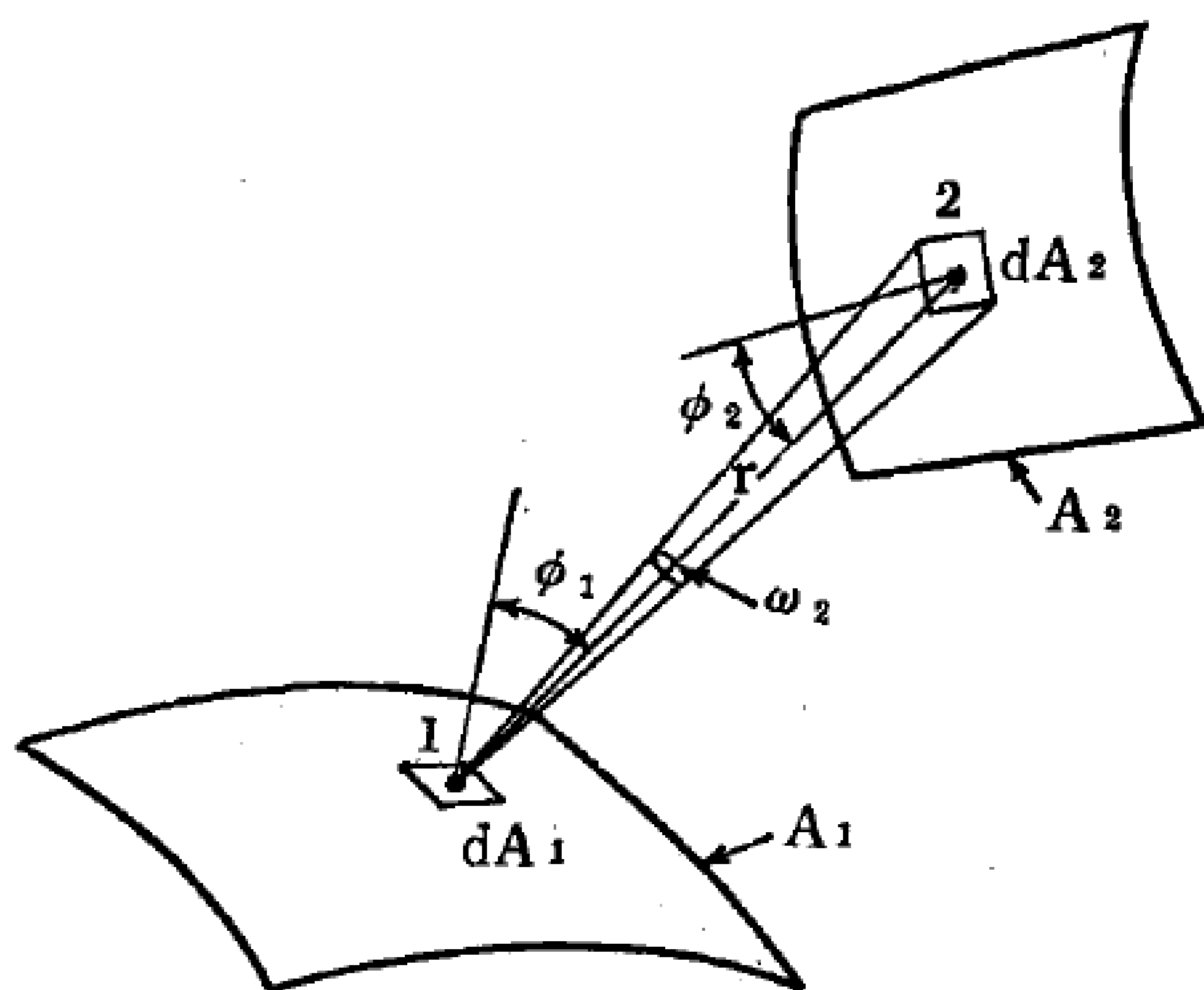


圖 16 — 59
經由輻射來交換能量的兩物體之幾何關係圖

令上式中的積分爲 F_{12}，則：

$$F_{12} = \int A_2 cos\phi_1 cos\phi_2 dA_2 / \pi r^2$$

F_{12} 被稱爲 A_1 面對 A_2 面的幾何因素。

現在，如果 A_2 面的放射度爲 ϵ_2，在溫度爲 T_2 時輻射至 A_1 面上，則 A_1、A_2 所交換的輻射淨功率爲：

$$W = \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \int A_1 F_{12} dA_1$$

如果 F_{12} 對 A_1 面是常數時，則

$$W = \epsilon_1 \epsilon_2 \sigma F_{12} A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

這也是（ 1 ）式的一般形式。利用輻射原理；可以控制人造衛星的溫度。

【輻射器】（ Radiator ）

用來將波輻射出去的設備。無線電發射臺的天線便是電磁波的輻射器，因爲藉著它，高頻電力可以轉變爲無線電波輻射出去。揚聲器則是聲波的輻射器。

【輻射劑量測定術】（ Radiation dosimetry ）

測量輻射傳達到某一地點之量，或被該地吸收之量。

【輻射遺傳效應】(Genetic effects of radiation)

一種能由母體遺傳到子體的輻射效應，是指能夠引起生殖細胞內之遺傳因子發生改變的任何輻射效應。

參閱“輻射與突變 (*Radiation and mutation*)”條。

【輻射點】(Radiant point)

即流星輻射點。

參閱“流星群 (*Meteoric shower*)”條。

【輻射壓力】(Radiation pressure)

由電磁輻射(包括光)加在物體上之力或機械壓力均稱爲輻射壓力。這種壓力在一表面上具有傳播作用。此現象係馬克士威 (*James*

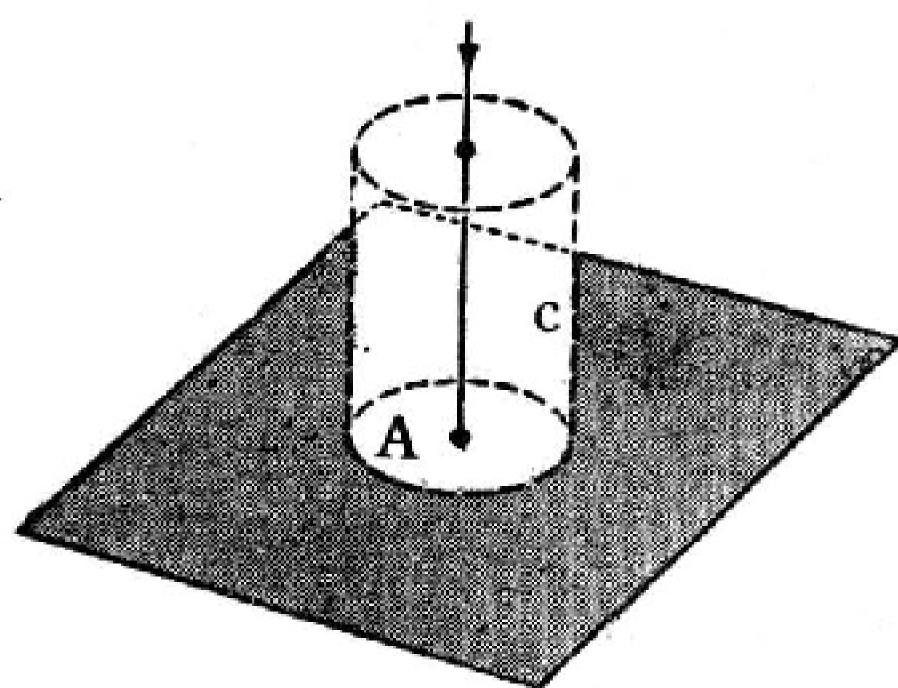


圖 16 — 60 垂直入射之輻射壓力

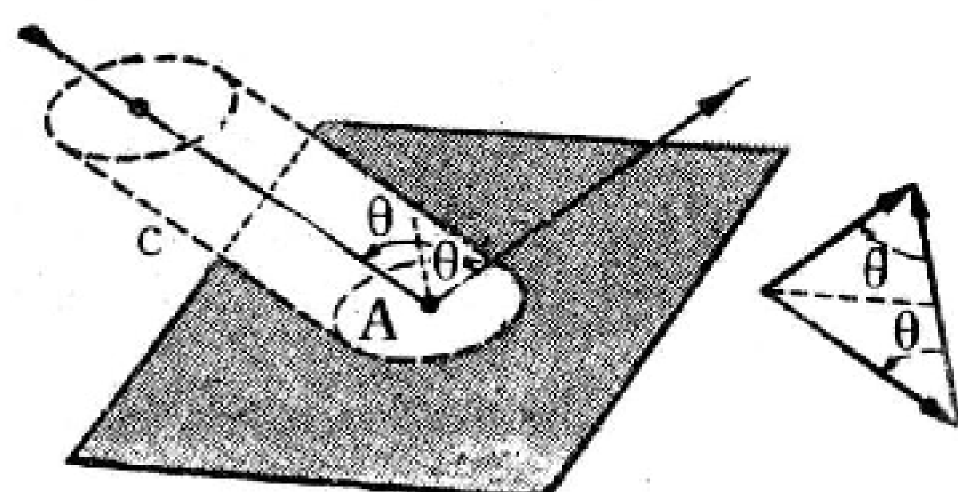


圖 16 — 61 斜向入射之輻射壓力，其右圖爲動量圖

Clerk Maxwell) 於 1871 年提出之理論，並由利伯德 (*Lebedew*)、尼可士 (*Nichols*) 和哈耳 (*Hull*) 分別在 1900～1901年進行實驗。這種壓力雖則非常微弱，但卻可以鑑別出來。尼可士曾使用葉輪輻射計 (*vane radiometer*) 證實這現象。

因電磁波具有動量，故其在一物體表面反射或吸收時產生某一壓力其基本原理與氣體施壓力於器壁之情況相同。首先考慮一些簡單之情況，假設一平面電磁波垂直落於一完全吸收之表面 (圖 16 — 60)，單位體積之入射動量爲 p，而單位時間落於表面 A 之輻射總動量爲 p 乘以其體積 cA；此即 pcA。若輻射全被表面吸收，則此亦爲表面 A 單位時

間所吸收之動量，即爲施於A上之力；除以A，則可得因輻射而生之壓力

$$P_{rad} = cp = E = \epsilon_0 \varepsilon^2$$

因此對垂直入射者而言，施於一完全吸收面之輻射壓力等於波中之能量密度。

反之，若表面爲一完全反射體，反射後之輻射具有一動量，大小與入射輻射相等，但方向相反，故單位體積之動量改變爲$2p$，則輻射壓力爲

$$P_{rad} = 2cp = 2E = 2\epsilon_0 \varepsilon^2$$

這些結果可引伸爲一般化之斜向入射（圖16－61），在此情況下，施於完全反射之表面單位體積的輻射動量爲$2p\cos\theta$，而其對應之輻射壓力爲

$$P_{rad} = 2cp\cos^2\theta = 2E\cos^2\theta$$

若輻射係向各方傳播，則必須求各方向之和，其結果爲

$$P_{rad} = \frac{2}{3}cp = \frac{2}{3}E$$

當表面爲一完全吸收體時，垂直於表面之動量改變減爲前定之值的二分之一（因沒有具動量的反射波），結果爲

$$P_{rad} = \frac{1}{3}E$$

此輻射壓力已經實驗證明，並導致幾個重要現象。例如，一彗星尾之曲率，可用來自太陽的電磁輻射之輻射壓力來解釋。欲估計施於地球表面之輻射壓力，必須考慮其入射能量約爲1.4×10^3瓦米$^{-2}$，相當於等於4.7×10^{-6}焦耳米$^{-3}$之能量密度，假設地球爲一完全吸收體並且輻射係來自各方向，則其輻射壓力爲

$$P_{rad} = \frac{1}{3}E = 1.6\times10^{-6}\text{ 牛頓米}^{-2}$$

此結果可與大約爲10^5牛頓米$^{-2}$之大氣壓力作一比較。

電磁說、量子論或熱力學均可對輻射壓力作滿意之解析。

參閱“光壓（*Light pressure*）”條。

【輻射警告符號】（Radiation warning symbol）

一種權威性的符號，如圖 16 — 62 所示，以黃色爲底，紫色字體，紫色三葉形符號，陳放在有可能造成輻射危害的地點。

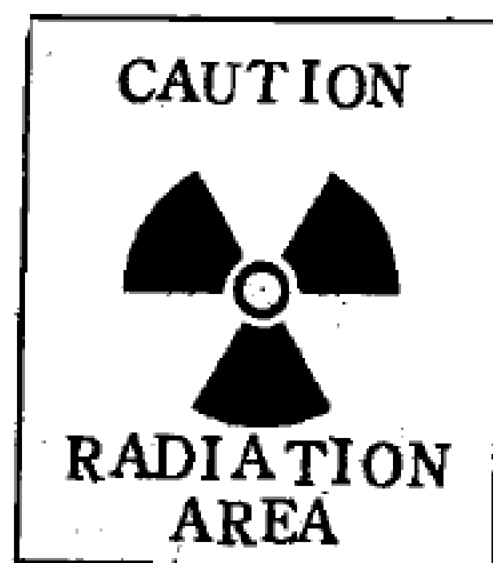


圖 16 — 62

【輻透】（Phot）

每平方厘米之被照面上入射 1 流明之光通量爲 1 輻透。

$$\text{輻透} = \frac{\text{流明}}{\text{平方厘米}} = 10^4 \text{ 勒克司}(lux)$$

參閱“照度（*Intensity of illumination*）”條。

【輻照率】（Irradiance）

詳閱“黑體（*Black-body*）”條。

【軟片錄音】（Film recording）

軟片錄音通常是在影片的旁邊附有聲帶，將聲音的變化隨畫面的變化而錄在聲帶上；聲帶有磁聲帶及光聲帶二種。磁聲帶的錄音及放音原理，均與磁性錄音相同。現述光聲帶的錄音及放音原理如下：

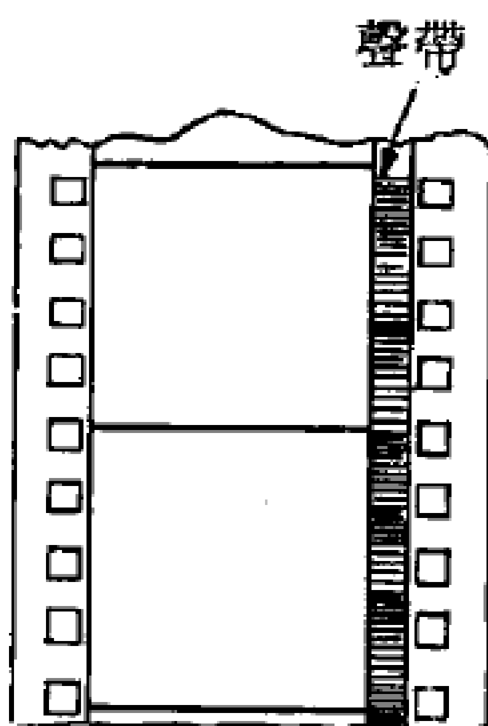


圖 16 — 63
影片上的聲帶

圖 16 — 63爲影片上連有聲帶的情形。圖 16 — 64 是光聲帶錄音的方式，圖(*a*)是變動光線的密度的錄音方式；圖(*b*)是變動光線的面積的錄音方式。有聲影片是軟片錄音最好的例子，影片放映時，光聲帶的放音情形如圖 16 — 65 所示。在影片經過畫面的放映後，另有一盞勵光燈（*exciting light*），

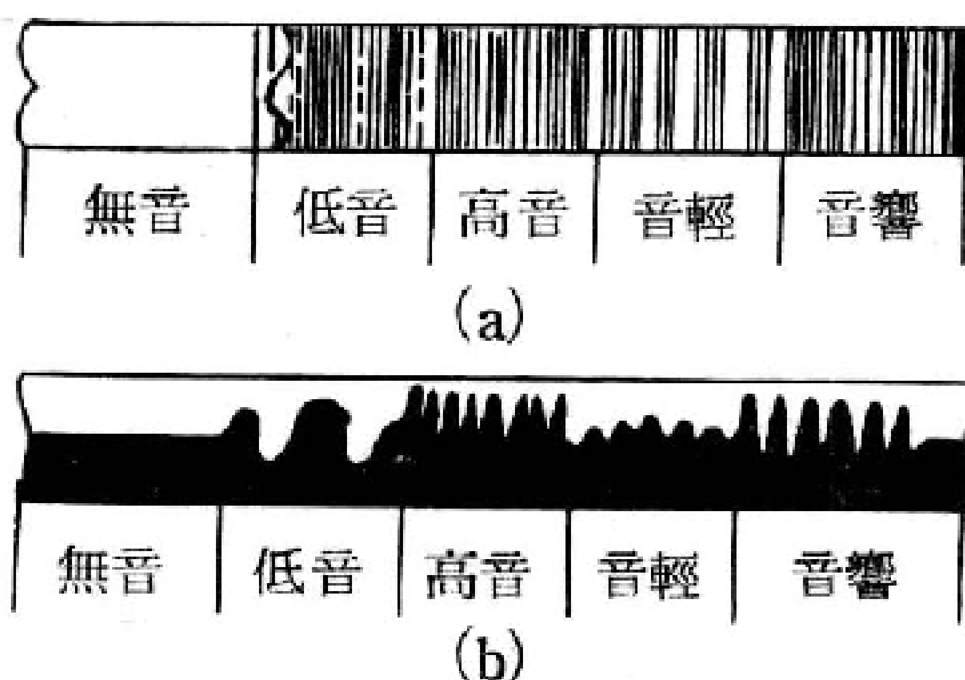


圖 16 — 64　光聲帶的錄音方式

其光線由透鏡組的焦聚，集中穿過光聲帶，最後到達光電管。光電管受到光線的照射立刻產生電流，因光聲帶上的光影密度或面積的變化，使抵達光電管的光線產生變化，因此，光電管的電流也就跟著變化。

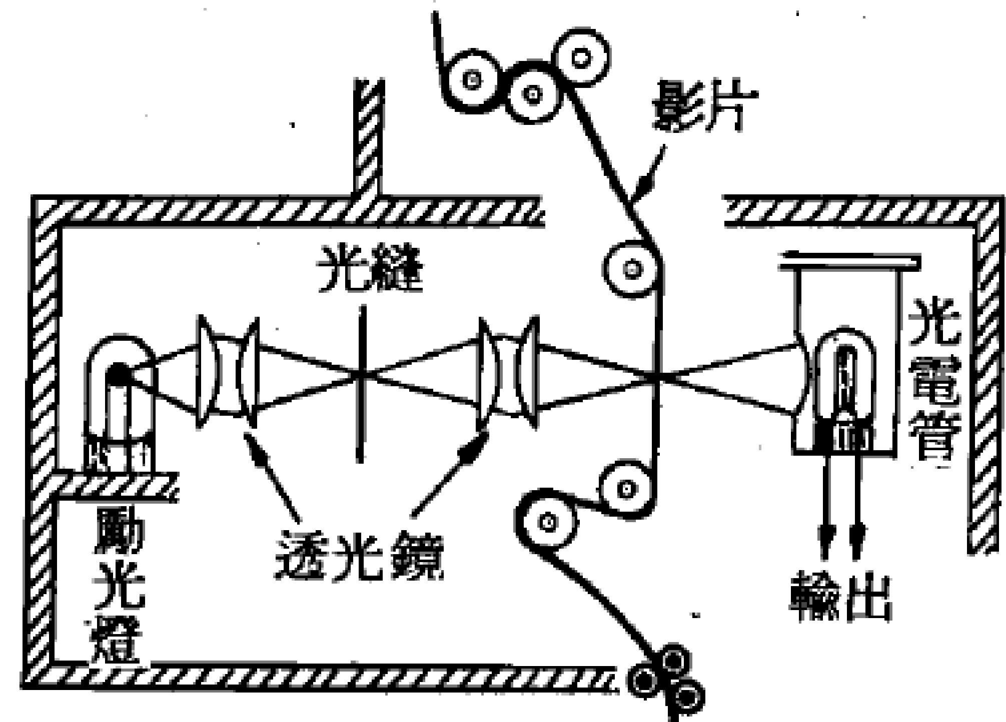


圖16—65　光聲帶放聲的情形

光電管是利用光電子放射的原理，將光線的變化變作電流的變化。光電管的陰極有靈敏的放射性，只要受到光線的照射，立刻放射電子，所以壽命比較短。不用時應不允許任何光線照射到光電管，要將裝光電管的地方加以緊密封閉。

【輸入】(Input)

電壓電流或電力是屬於輸入電路者。

【輸入阻抗】(Input impedance)

輸入電路兩端之電壓與電流之比值。

【輸入信號】(Input signal)

如放大管跨過柵陰間的激勵電壓。

【輸入電力】(Input power)

如變壓器中初級圈的電力。

【輸入電容】(Input capacitance)

儀器輸入電路所具有的電容。在電子管電路的輸入電容中，包含有輸入電子管陰極（柵極和柵極）屏極間的極間電容（柵屏極間電容的作用隨屏路負載的性質而變化）和輸入電路導線的寄生電容。輸入電容在用於高頻電路的一切儀器（高頻放大器、電子管伏特表等）中都有著嚴重的影響，因爲這個電容的存在會使得在儀器的輸入電路中產生電容性電流。這種電流越大（當儀器的輸入電容越大時），則與儀器相聯的高

頻電源裏面的電壓降便越大。所以用於高頻電路的儀器中，總是力求盡可能降低其佈線電容，並採用極間電容最小的電子管。

【輸入電容器式濾波器】(Condenser input filter)

濾波器以電容器裝於扼流圈之前者。

【輸入電路】(Input circuit)

指電子管柵極至陰極間的電路，或指變壓器之初級圈。

【輸入變壓器】(Input transformer)

將所得之能量輸至另一輸入電路或器械之變壓器。

【輸出】(Output)

經電子管放大後之信號，或經變壓器升降後之電壓。

【輸出功率】(Output power)

如功率放大管交到揚聲器的聲頻電力就是功率管的輸出功率。

【輸出阻抗】(Output impedance)

在輸出之兩端間的總阻抗。

【輸出計】(Output meter)

專門用來測量接收機輸出電壓的交流伏特表，通常是氧化銅的測量儀。比電子管伏特表要方便得多，因為它不需要電源。

【輸出指示器】(Output indicator)

連接於輸出電路之電表，指出信號強度之裝置。

【輸出級】(Output stage)

接收機之最末級，其輸出功率是直接饋至揚聲器者。

【輸出電路】(Output circuit)

如電子管放大器的屏陰間電路。

【輸出管】(Output tube)

指接收機或發射機之功率放大管。

【輸出導納】(Output admittance)

輸出阻抗之導數。其符號爲Y，並以姆歐（*mho*）單位量度之。其式如

$$Y=\frac{1}{Z}$$

Z爲阻抗之符號。

【輸出變壓器】（Output transformer）

接於接收機輸出端的低頻變壓器，用來使接收機輸出電子管的內阻與負載如揚聲器、轉播線路等的阻抗相匹配。因爲負載阻抗通常要比接收機輸出管的內阻小得多，所以輸出變壓器的次級線圈的轉數應只爲初級繞組的若干分之一。這時輸出變壓器使輸出電子管所送出的電壓降低，然而卻變換著阻抗，使負載阻抗接近於電子管的內阻。如此，可以獲得較大的音頻電力，在揚聲器上耦合到空間。

【輸送線】（Transmission lines）

輸送線是天線與發射機的連絡線，目的將發射機的電力送上天線去。輸送線分爲兩種：一種是諧振式輸送線，另一種是非諧振式輸送線。

【選波開關】（Band selector switch）

任意選擇調諧圈的開關。

【選擇】（Selection）

電路對頻率響應的特性。

【選擇反射】（Selective reflection）

不透明體只將照射光的一部分反射，而將其餘的吸收，此種反射，叫做選擇反射。在陽光下所現出的顏色，如紅布的紅色，即因它只能將紅色的光反射，其他各色均被吸收。白色係物質能反射各種光的現象。黑色係物質能吸收各種光的結果。

【選擇本領】（Selectivity）

從許多不同的信號中，分開頻率的選擇能力。

【選擇曲線】（Selectivity curve）

記錄對各頻率的響應程度的響應曲線。

【選擇吸收】(Selective absorption)

光線射達一物體後，此物即依其特性反射或折射某色光而吸收其餘者謂之選擇吸收。

假定在一密閉空間加熱產生若干鈉蒸氣（見圖 16 — 66 ），且再將白光之光柱穿過此蒸氣。經過此空間，以一光柵或稜鏡乃產生白光光譜。在光譜中可看出有黑線，鈉蒸氣有兩條特殊的線相互靠近黃色。鈉蒸氣強烈吸收特殊波長，故稱爲選擇吸收。此黑線亦在日光的光譜內出現，首先由夫牢因和斐（*Fraunhofer*）用光柵攝譜儀（*grating spectrograph*）發現，且歸因於太陽輻射在其大氣的最外層內，有選擇吸收。此等最強的夫牢因和斐譜線亦可在地球上用圖 16 — 66 所示實驗用水蒸氣使鈉蒸氣位移而獲得，由此推斷太陽之大氣層中含有大量水蒸氣。

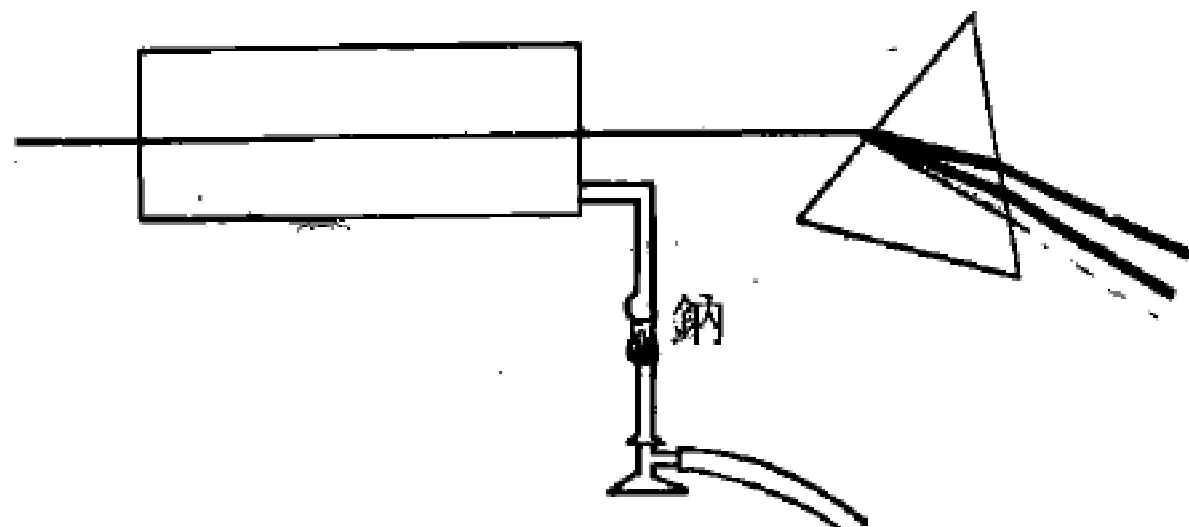


圖 16 — 66 在鈉蒸氣中之選擇吸收

選擇吸收現象，事實上乃振盪子之共振頻率使鈉原子帶入黃色區，鈉原子僅與鄰近於其共振頻率的輻射反應，吸收如此輻射及再發射部分輻射於所有方向中，故進入稜鏡之光線內含有的黃色較進入的白光所具者少掉的數量甚多。鈉蒸氣之光學性質，與固態鈉十分不同。後者爲一金屬，即謂其原子放出的電子是自由隨意去向，而剩下的原子因失去電子而具電荷即成爲離子，成爲一格子，穿過格子此電子的流體流動著。在鈉蒸氣中，原子僅相互間輕微的作用，故各自保持自己的電子。

可經由圖 16 — 66 吸收室中繼續增加鈉蒸氣的壓力使由氣態轉變至金屬態做研究。首先可看出吸收帶變寬濶，此乃原子開始相互碰撞而相干涉，故可決定吸收不甚精確的頻率。

【選擇性控制】(Selectivity control)

能變更接收機選擇度的機件或電路。

【選擇定則】(Selection rule)

係一系統內其狀態之改變或能階的躍遷，並不是沒有限制，這種躍遷的可能性，在量子力學（*Quantum mechanics*）中稱為選擇定則。此類定則由狀態的量子數之間的變化所決定，故選擇定則也以量子數的變化表示。選擇定則可以從量子力學中的躍遷機率得知，即選擇量子數的變化使計算所得的躍遷機率不是零的情況，這在波函數（*wave function*）和所加的作用中可以了解。

例如在氫原子光譜中，各種狀態的躍遷，必須遵守下列的選擇定則，否則不可能發生躍遷

$$\triangle l = \pm 1 \qquad \triangle m_l = 0 \text{ , } \pm 1$$

式中 l 為軌道角動量量子數，m_l 為其磁量子數。

在 $L\,S$ 耦合中，只有電子自不同的角動量和自旋態躍遷到其他狀態，這屬於電雙極矩躍遷，其選擇定則是奇偶性變化的躍遷，即

$$\triangle L = 0 \text{ , } \pm 1 \qquad \vec{L} = \Sigma \vec{L_i}$$

$$\triangle J = 0 \text{ , } \pm 1 \qquad \vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$$

$$\triangle S = 0 \qquad \vec{S} = \Sigma \vec{S_i}$$

選擇定則乃表起始及末後狀態之本徵函數的量子數之一組條件，當計算一雙本徵函數其量子數違反此條件時，其電雙極子矩陣元素為零。

其他選擇定則的例子，如貝他衰變及阿伐衰變中容許躍遷（*allowed transition*）的選擇定則。

【選擇發射】(Selective emission)

選擇性吸收的相對情形為輻射線之選擇發射。若在火焰中，例如一本生燈（*Bunsen burner*）見圖 16 — 67，散入某種鈉鹽則火焰發射出一種明亮的黃光，用一光柵或一稜鏡則可檢查出此光線再為相同之雙線（589～589.5 nm）。用其他金屬亦可實行此種實驗；每種金屬有其

特性光譜。在此方式中，每種物料可由其振盪子發射的光譜認知之，選擇吸收光譜及選擇發射光譜總是相同的。

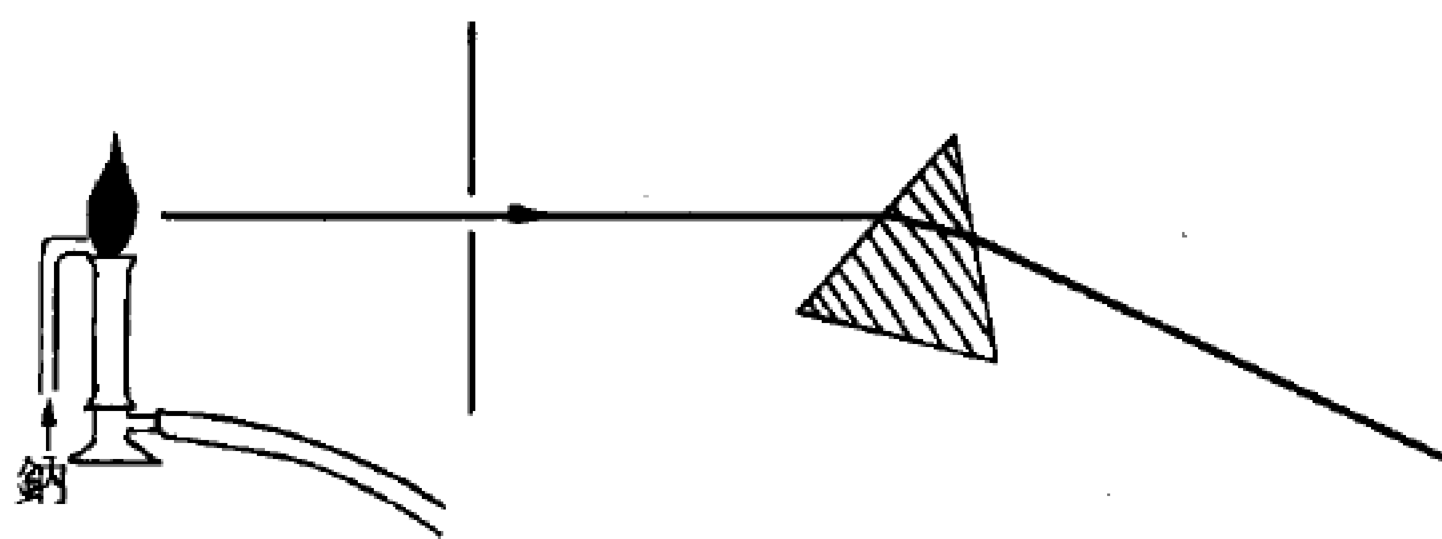


圖 16 — 67 選擇發射

【選擇開關】(Selector switch)

接收機選擇接收頻段的開關。

【選擇器】(Selector)

可以任意選擇頻率或頻段的機件。

【遲延線】(Delay line)

計算機中一種記憶裝置，應用物理的、機械的或電力的技術，儲入并延遲再投入的資料。

【遷移率】(Mobility)

以古典的自由電子模型雖然能推出歐姆定律，以說明金屬中電流與電場強度之關係，可是對平均自由路程，根據該理論算出的值與實測者有一偏差，此顯示古典自由電子模型過於近似。宏觀之，金屬內之電子受外加磁場之作用，電子在金屬晶格與離子非彈性碰撞數，所得之漂移速度（*drift velocity*）v_d 與外加磁場強度 E 成正比，即

$$v_d = \mu E \quad 而 \quad \mu = \frac{e\tau}{m}$$

如此的 μ 通稱為遷移率，其意為每單位電場之活動速度。式中 τ 為金屬的鬆弛時間常數（*relax time constant*）。室溫下銅的遷移率為

$$\mu \fallingdotseq \frac{(5 \times 10^{-10})(2 \times 10^{-14})}{9 \times 10^{-28}} \fallingdotseq 10^4 \text{ 厘米}^2/\text{靜伏特·秒} \fallingdotseq$$

30 厘米^2／伏特·秒

遷移率一量，尤在半導體問題中，至為重要。

【鋸齒形的】(Jagged)

在檢波器輸出的聲頻電壓，常含有鋸齒形的微動成分，此種成分是代表檢波後的殘留射頻或中頻。

【鋸齒形波】(Saw-tooth wave)

電波之振幅上升時頗慢，但下降急速，波形如鋸齒，故稱鋸齒形波。

【鋸齒形波產生器】(Saw-tooth wave generator)

利用電子管振盪器供給鋸齒形電波，常供給陰極射線管水平偏向屏用。

【鋸齒形波振盪器】(Saw-tooth wave oscillator)

一種張弛振盪示波器使用的鋸齒形波是由氣體二極管或三極管振盪得來的。

【鋸齒形電壓】(Saw-shaped voltage)

對時間的變化曲線成鋸齒形的交流電壓。鋸齒形電壓可應用於各種不同的目的，例如欲在電子示波器的屏上實現掃描，就必須在偏向屏上加以鋸齒形電壓。鋸齒形電壓發生器是電視的一切電子系統中不可或缺的一部分。利用鋸齒形電壓，可以在發送影像時將影像按行與幀進行分解，而在接收時再將影像復合起來。

鋸齒波是一種張弛振盪，而鋸齒波發生器也就是一種張弛振盪器。鋸齒形電壓通常是利用電子管電路來產生的。在這些電路中，用得最廣的是間歇振盪器。

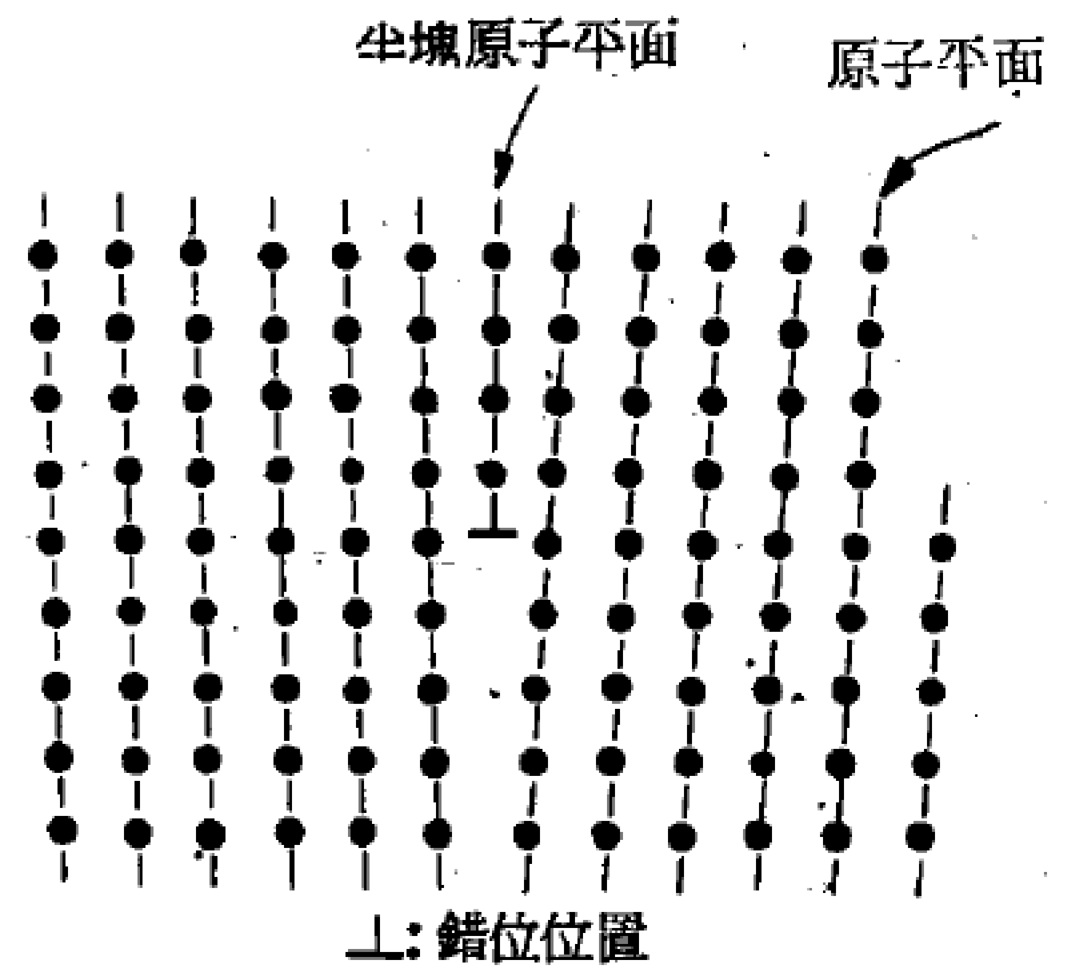
【錳青銅】(Manganese bronze)

銅錳合金，電阻溫度係數甚低，儀器中之分流電阻多採用之。

【錯位】(Dislocation)

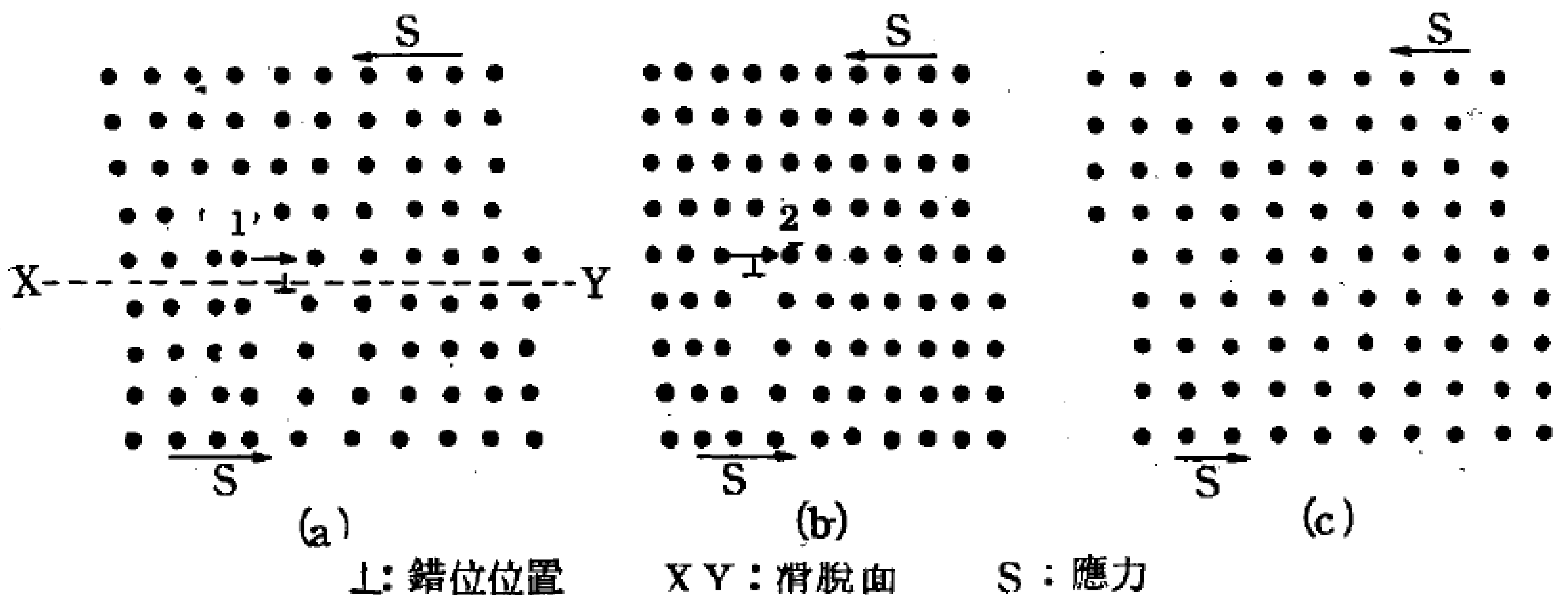
錯位是一種晶體之線性缺陷(*line defect*)，也就是衆原子之排列發生了錯亂。這種錯亂，使得晶體局部產生扭曲，因而能夠改變那透過金屬薄片之電子束(*electron beam*)之進行方向。所以我們可藉透視

電子顯微鏡（ *transmission electron microscope* ）來觀察呈黑絲狀的錯位。在 1955 年左右，科學家用電子顯微鏡第一次看到錯位的存在。最常見的一種錯位是晶體內半個平面之原子失踪，如圖 16－68。這些錯位易於移動，使得實際上之晶體變得很軟弱，即在很小的應力之作用下，便承不住而變形。所以在工程和理論上，錯位是一門值得研究的學科；金屬無論怎樣提煉和



⊥：錯位位置
圖 16－68

鑄造，幾乎所有的晶體都有錯位在內，通常的結晶體錯位密度，是每平方公分就有一百萬及一萬萬錯位（ $10^6/cm^2 \sim 10^8/cm^2$ ）。



⊥：錯位位置　　XY：滑脫面　　S：應力
圖 16－69　原子向右移動，錯位向左移動。

錯位有幾種基本的形態，例如，有一種稱爲邊緣錯位（ *edge dislocation* ），在滑動平面左半部的原子較未變形前多移動一個原子的距離，但右半部卻沒有移動，其交界線即邊緣錯位所在處，看上去似乎有額外的一排原子橫在此地，這條邊緣錯位線垂直於滑動方向。還有一種稱爲螺旋錯位（ *screw dislocation* ），錯位所在的線與滑動的方向平行。

當一個結晶體受到應力時，錯位線附近的原子變成很容易移動，因錯位線以下並無原子平面，於是原子與原子間的連繫力（*bond strength*）就減低了許多。如果應力強度不斷增加，到了某一限度，錯位附近的原子受不住這個應力，就開始移動了，錯位線通常是在滑脫面上活動。當一條錯位走過晶體時，就留下一個步印（*step*），如圖 16－69。

當應用材料受壓力而變形，是由於錯位在移動面上走動，這是無可避免的。所以我們必須利用錯位的特性來改進材料的屈服應力，最簡單的方法乃是增加錯位的密度，因爲錯位增加，力場也跟著增加，而力場又可以限制錯位活動。增加錯位密度可用冷輾（*cold rolling*）或熱輾（*hot rolling*）等方法，和合金加強法（*alloy hardening*）。合金加強法可使材料的屈服應力大大的提高，又不容易變脆，乃是兩全其美的方法。

【錯離子】（Complex ions）

凡帶電荷的根或原子基團諸如 $Ag(CN)_2^-$、$Ca(NH_3)_2^{++}$等，由一個陽離子與其他一個或數個陰離子相合成，或由一個離子與電中性基團或分子結合而形成的帶電基團。

【錒】（Actinium；Ac）

一種放射性元素，其原子序數爲 89，乃錒系元素之首。最穩定的同位素爲錒－227（^{227}Ac），放射 α 粒子及 β 粒子而衰變，半衰期爲 21.7 年。錒最主要的生產方法是將鐳在原子爐中以中子撞擊。錒的化學性質與稀土元素相似，可與之同以草酸鹽形成沉澱。除錒的硫化物外，錒的化合物均無色。伴生於各種鈾礦中，一噸瀝青鈾礦中約含0.15毫克之錒，其化合物如 $Ac(OH)_3$，Ac_2O_3，$AcCl_3$ 等均曾製出。

【錒系】（Actinium series）

這系的元素是從原子序數 89 的錒到 103 的鐒，它們在週期表中只

佔一個位置。這系包括原子序數 92 的鈾及所有人造超鈾元素。錒系是一系列由鈾 - 235放射衰變而來的核種。許多人造核種都衰變入這一系統。這系統的終產物是鉛 - 207。

參閱“超鈾元素(*Transuranic element*)”條。

【錒系元素】(Actinoid series; Actinoid elements)

錒系元素乃仿照稀土族元素之稱爲鑭系元素而名者。此系中各元素的外層電子結構爲 $7s^2 7p^1 5f^n$, $n = 0$ 至 14 ，故其化學性質皆類似。所有各元素均不穩定而有放射性。僅鈾與針在自然界有相當存量，各元素之許多同位素均是在原子爐或加速器中經由核反應所製成的。此系元素有由錒至鐒等十五種元素。其名稱及原子序數如下：

錒(*actinum*, $_{89}Ac$)，針(*thorium*, $_{90}Th$)

鏷(*protoactinum*, $_{91}Pa$)，鈾(*uranium*, $_{92}U$)

錼(*neptunium*, $_{93}Np$)，鈽(*plutonium*, $_{94}Pu$)

鋂(*americium*, $_{95}Am$)，鋦(*curium*, $_{96}Cm$)

鉳(*berkelium*, $_{97}Bk$)，鉲(*californium*, $_{98}Cf$)

鑀(*einsteinium*, $_{99}Es$)，鐨(*fermium*, $_{100}Fm$)

鍆(*mendelevium*. $_{101}Md$)，鍩(*nobelium*, $_{102}No$)

鐒(*lawrencium*, $_{103}Lw$)。

原子量超過 92 的元素又稱爲超鈾元素(*transuranium elements*)，超鈾元素均由鈾製造而成。除鈽($_{94}Pu$)外產量均甚微少，且半衰期短，故無實際用途。鈽則用以製造原子彈。

【鋼片】(Sheet steel)

構成電機或變壓器之鐵芯用。

【鋼筋混凝土】(Reinforced concrete)

混凝土的抗壓強度雖強大，可是抗張強度則很弱。因此，在混凝土中常如圖 16－70 所示，放些鋼筋來增強其抗張強度。這就是鋼筋混凝土

。

【錫疫】(Tin disease)

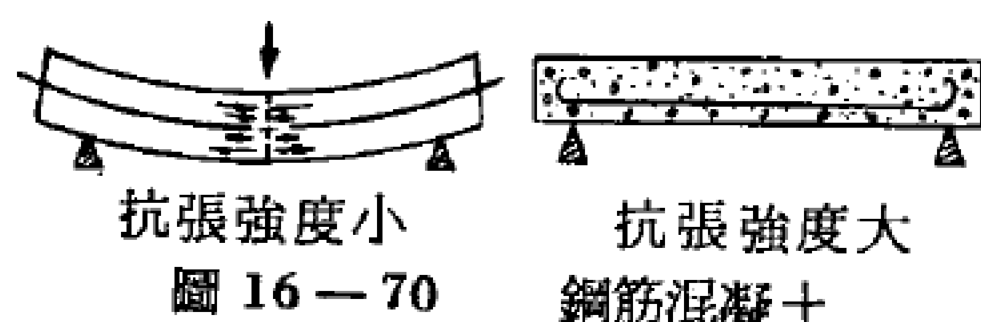


圖 16—70

把一條錫彎曲過來，側耳一聽，就會聽到嚓嚓的錫鳴 (*tin cry*)，這是由於錫條裏的錫晶體互相摩擦的緣故。

錫有兩種晶體，在 13 °C 上以，就是普通的白錫；在 13 °C 以下時，它會變成灰錫。灰錫與白錫完全不同，灰錫是灰色粉末狀。在溫度稍低於 13 °C 時，這種轉變的速度是比較慢的，所以即使在冬天，錫器放在屋裏也不會變成一堆粉末。但是，溫度越低，這種轉變越快，在 −33°C 時，這種轉變達到了最高點，一塊白錫很快就會變成一堆灰錫。此種現象我們稱之爲錫疫。

如果普通的錫，與已經生了錫疫的錫接觸，便會傳染。在博物館裏，我們就可以看見有些古代遺留下來的錫器與錫質獎章表面有許多斑點，那便是錫的凍瘡——灰錫。

【錫箔】(Tin-foil)

紙質電容器的導片。

【錄音】(Sound recording)

將聲音記錄下來以便將來重發。聲音的記錄與重發，有著各種各樣不同的方法。採用最廣的是留聲機唱片上的機械錄音。機械錄音的原理是被錄的聲音投射到振動膜上，使膜發生振動。與振動膜聯裝一隻尖針，這隻尖針也就發生振動，並將這些振動繪製(即記錄)於旋轉著的型片上。利用這種“錄過音”的型片，可以製取唱片。唱片上就印上了尖針刻劃出來的溝紋。欲重發錄下的聲音，只須重新使型片或由其製出的唱片旋轉，在其開始部分放置一枚與振動膜相聯著的唱針。唱針沿著所刻溝紋運動時，便重複著錄於唱片上的振動，這些振動便被振動膜重發出來。

比較完善的是電氣機械錄音系統，在這種系統中，聲音不是直接作用到帶尖針的振動膜上，而是作用於傳聲器。由傳聲器所產生的電振動經過適當地放大以後送到錄音機構，這個機構是用帶尖針的受話器代替了振動膜。尖針被電振動所引動而將聲音記錄在唱片上。這種錄音儀器叫做記錄器。

還有完全相仿的電氣機械聲音重發系統，在這裏與記錄器相似的儀器叫做拾音器或電唱頭，它可以將唱針的機械振動變成電振動。這種振動經過放大器放大以後由揚聲器重發出來。聲音記錄與重發中具有中間電氣環節使得記錄與重發都有很大的改善。

此外還有光學錄音法，這種方法差不多完全是用在有聲電影裏。目前採用最廣的是磁錄音，市上流行的錄音機，都是採用這個方式。

【錄音材料】(**Recording material**)

磁性錄音中用以記錄聲音，在經過錄音頭時能接受磁化的物質，我們稱爲錄音材料。由於所用材料的不同，可以影響錄音的頻率應度 (*frequency response*)、信號強度 (*signal strength*) 及噪聲級 (*noise level*)。

磁性錄音對於較低的聲頻，放音頭內應電流的強弱由錄音材料的剩磁多少而決定。但是較高的聲頻，因爲錄音材料有自去磁效應 (*self-demagnetizing effect*) 的產生，使放音頭內的應電流減弱 (這種效應隨頻率的增高而變爲顯著)。爲了使錄音材料能適應於較高的聲頻，所以錄音材料需要有較高的矯頑磁力來抵銷自去磁的作用。但是矯頑磁力高的材料，其頑磁性 (*retentivity*) 較小，對於較低聲頻的響應又不能盡如理想。

錄音材料在製作時，原則上應兼顧矯頑磁力及頑磁性而作適當的設計。矯頑磁力較高的錄音材料，在捲成一卷時，可防止各層間互相感應再度磁化而改變原來錄音時的磁化狀態，產生竄話 (*cross-talk*) 的

噪聲。

其次錄音材料在使用時常會受到拉力或衝擊力，所以要兼顧其柔順性（*flexibility*）及抗張強度（*tensile strength*）。下爲鋼線及磁帶二種錄音材料：

1.鋼線（*steel wire*）比較常見的有

(1)純碳鋼線（*simple carbon steel wire*）——此類鋼線內含0.5～0.9的碳，1％以下的錳。因爲頻率應度的範圍較狹，而信號噪音比較低，僅適用於3,000*Hz*以下的聲音之錄音。

(2)鉻鋼線（*chrome steel wire*）——此類鋼線的矯頑磁力約爲50厄司特，亦僅能用於3,000*Hz*以下的聲頻。

(3)18／8 不銹鋼線（*stainless steel wire*）——此類鋼線內含鉻18％及鎳8％，其矯頑磁力約爲175厄司特，信號噪音較高，其最大頻率的飽和信號輸出（*saturated signal output*）比交流噪聲級（*A.C. current noise level*）高約46*db*，比調幅噪聲級（*modulation noise level*）高約30*db*，可以用作一般的音樂錄音。

2.磁帶（*tape*）依其所用的材料約可分

(1)*C*型——此種磁帶係用乙醯纖維素（*acetyl-cellulose*）作基帶，以硫化鐵、氨及硝酸銨衍生的磁性氧化鐵（*magnetic ferric oxide*）與適當的結合劑混合後壓鑄於基帶上而成，其厚度約爲0.0017～0.002吋。

(2)*L*型——此種磁帶係用塑膠（*plastics*）與磁性氧化鐵混合後加以壓鑄。

(3)紙基帶型——此種磁帶與*C*型相仿，所不同的是以紙帶代替乙醯纖維素作基帶。

以上所述是一般錄音材料的成分。其中鋼線的柔順性佳、抗張強度達24,500磅／吋^2，直徑均爲4密耳（*mil*）或0.004吋；錄音或放

音的鋼線前進速度爲 24 吋／秒；倒線的速度較高，約爲錄音或放音的 $7\frac{1}{2}$倍。

磁帶的速度通常有 $1\frac{7}{8}$、$3\frac{3}{4}$、$7\frac{1}{2}$、15吋／秒（ *ips* ）等速度。標準的長度有每卷 200呎、600呎、1,200呎及 2,400 呎等，亦有依特殊設計而千變萬化。

近年來一般的電器用品都趨向固態（*solid state* ）方面，同時採用電晶體或積體電路（ *integrated circuit* ）以縮小其體積。因此，磁帶也發展成爲封盒卡式（ *compact cassette* ），即將 3.81*mm* 寬的磁帶，長 90 *m*（或其他長度），圈封在一塑膠質的密封盒（ *compact* ）內。其外盒的規格概爲 100*mm*×64*mm*×12*mm* ，爲目前全世界統一的尺寸。磁帶是雙軌（ *two tracks* ）的，每一波道可以錄音半小時，二面可錄音達一小時，十分實用而方便。

【錄音頭】（Cutting head）

將電的變化改作磁的變化，並將它錄在磁聲錄音帶上。

【錄音機】（Recorder）

錄音機是錄音的裝置，可將所錄的聲音隨時重行放出，比留聲機方便。其錄音方式可分爲機械錄音與磁性錄音兩種。機械錄音是將得自傳聲器的電振盪變成機械振動的錄音儀器，在機械錄音中，用來刻劃音槽。

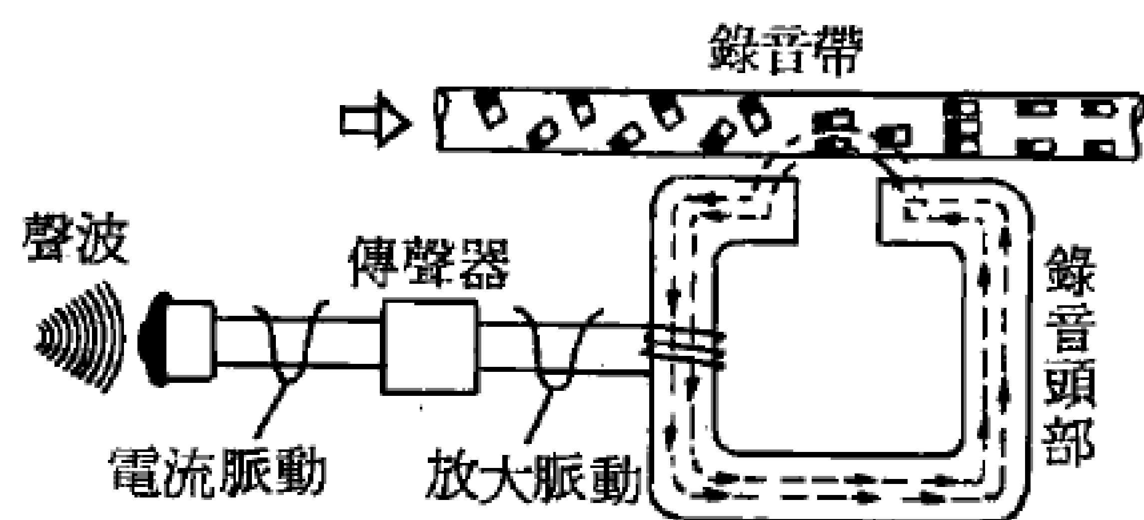


圖 16－71　錄音原理

記錄器可分爲電磁式記錄器與壓電式記錄器兩種，前者的構造和電磁拾音器相似，後者則是利用酒石酸鹽的壓電性質，其作用與壓電拾音器相仿。

磁性錄音是用磁帶或磁碟將所需要之信號、言語或音樂隨時自動記

錄。其錄音和放音是根據電磁作用的原理，先將聲波藉傳聲器（俗名麥克風）變成電流的脈動，再將電流藉放大器放大，而後送到錄音頭部。錄音鋼線（或錄音紙帶）經過此處，受到電流的作用，即留下一種相應的磁力模型（圖 16 — 71 ）。將來放送時，則依照此磁力模型先發生一種相應的電流的脈動，再藉放大器和揚聲器的作用，即可放出原來的聲音。

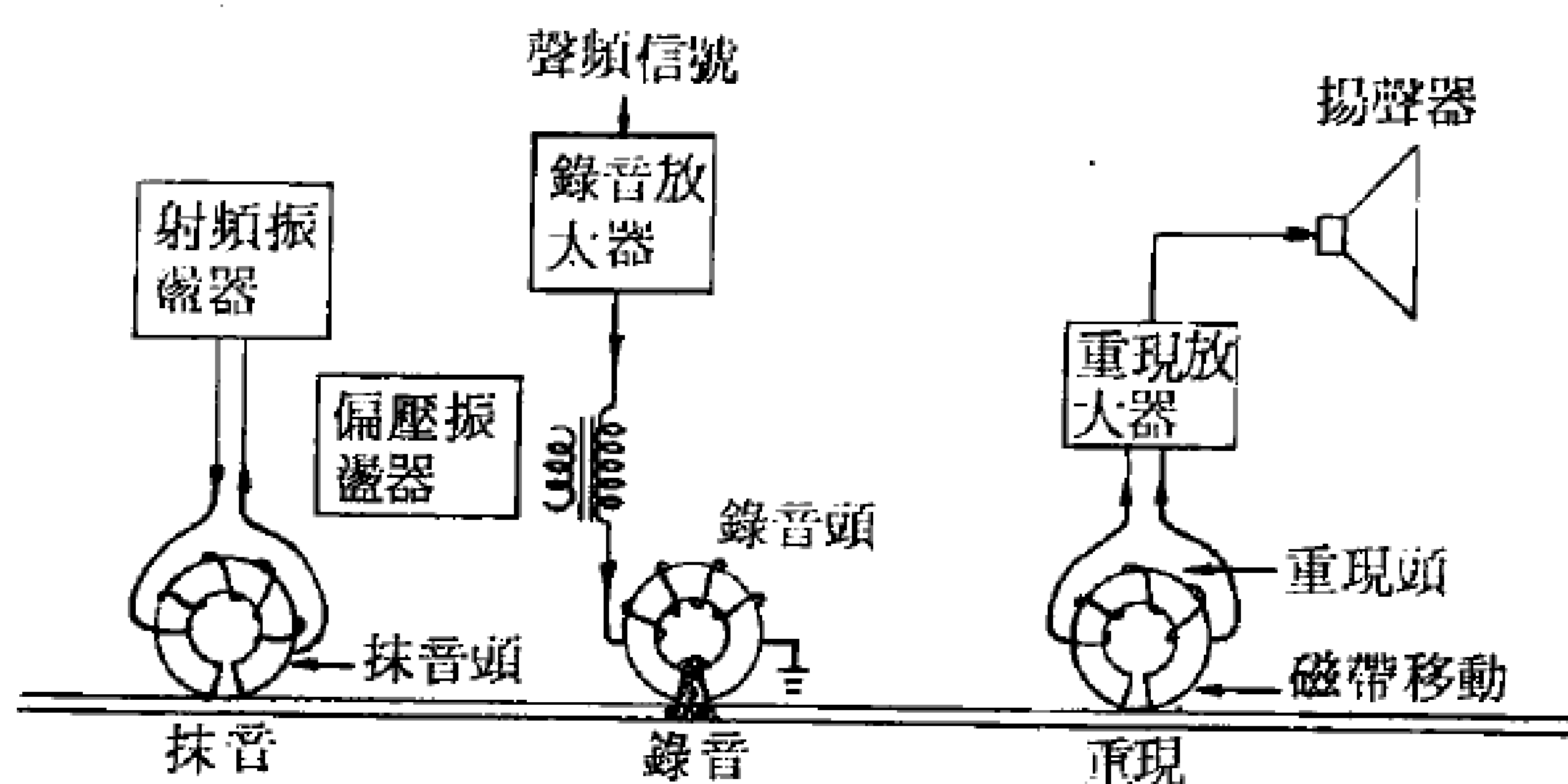


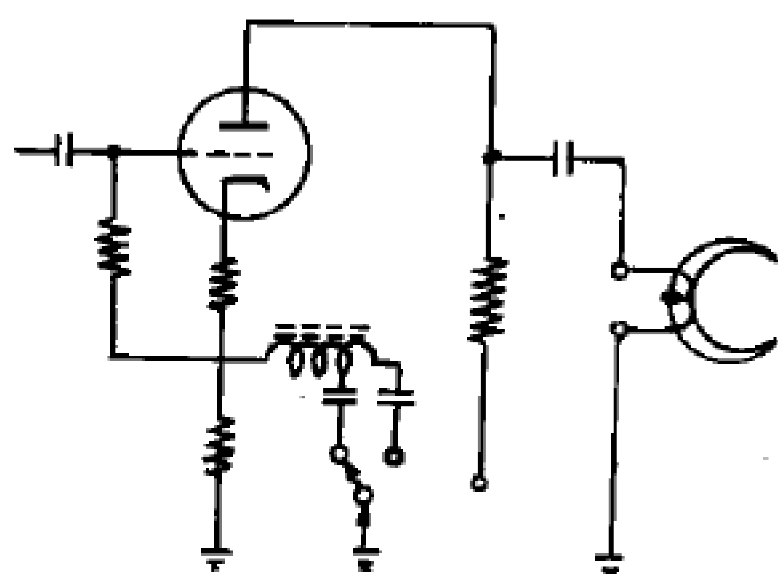
圖 16 — 72　錄音機的作用原理

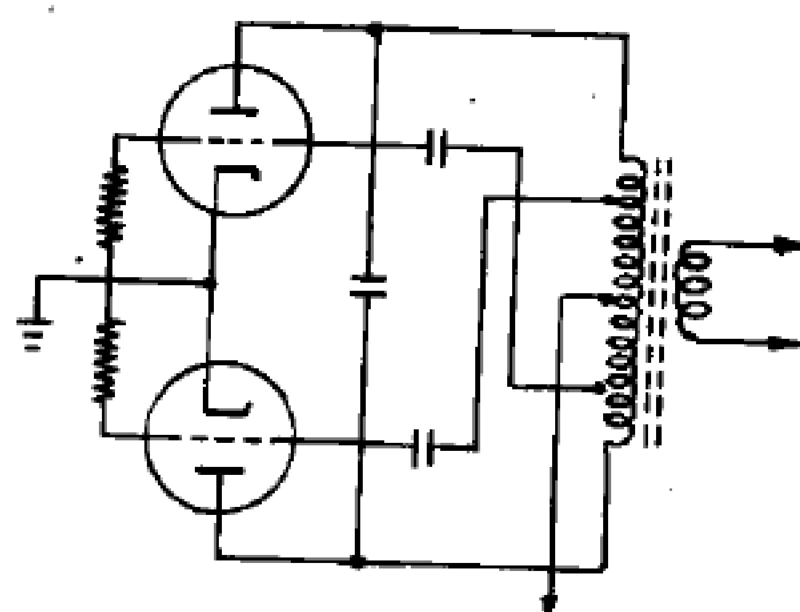
一般實用的錄音機，必須具有錄音作用、重現作用、及抹擦作用（如圖 16 — 72 ）。當所錄的音不需要而又要重新錄音時，原存的錄音必先經擦去，方可錄音。

錄音機的電路結構隨著設計而千變萬化，但除了電源系統及開關（*switch*）系統外，通常具有下列四大部分：

(1)聲頻放大部分——包括二級或三級的高增益電壓放大及一級功率輸出放大。尚有一均衡器，用以修正錄音頭及錄音帶的高音部分的響應。其線路如圖 16 — 73所示。

(2)超聲頻振盪器——直接作錄音偏壓及抹音偏壓，或另加錄音偏壓放大器及抹音電壓放大器


圖 16 — 73　均衡器電路


圖 16 — 74　振盪電路

。圖 16 — 74爲振盪電路之一例。

(3)混頻電路——此電路或爲電容耦合電路，或爲感應耦合電路，如圖 16 — 75所示爲其一例。此電路使由射頻放大器放大後之聲頻電壓，及由超聲頻振盪器所輸出的錄音偏壓在未饋至錄音頭前先予混合。

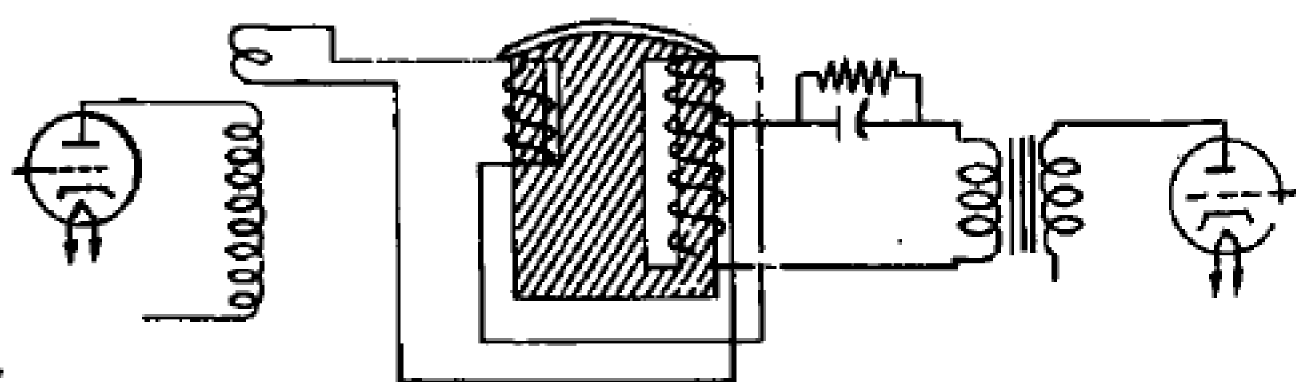


圖 16 — 75　混頻電路

(4)錄音強度指示器(如圖16—76)——一般採用氖管或氧化銅整流式的電流計，通常接於聲頻放大器或錄音放大器的輸出電路中。

若錄音機有雜聲，其原因有——(1)錄音頭之線圈有損。(2)錄音頭上有汚跡。(3)膠帶處理不善；或者是電動馬達不良發出吱吱聲，不然就是錄音帶使用過久。錄音機的保養工作可分三點——(1)機件及錄音頭須保持清潔，(2)軸承及旋轉部分要加油，(3)電路部分如切換開關和放大器電路，要特別留意檢查。

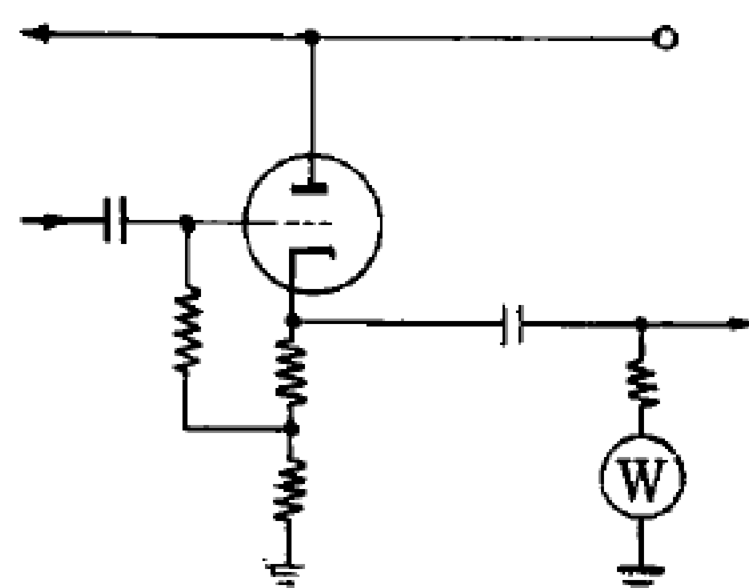


圖 16 — 76　強度級指示器

【錐面波】(Conical wave)

其波形如圖 16—77 所示，係一運動的波源所產生的效應，但波源運動的速度要比波速(也就是相速度)爲快。首先讓我們考慮具有一定速度的波，如聲波、光波。如果有一個聲源，其運動的速度大於聲速，那麼就會發生下面的情形：假如在某一瞬間，波源在x_1發出聲波，如圖 16 — 78，那麼在下一瞬間，當聲源移動到x_2時，原先當聲源在x_1處所發出的聲波，則

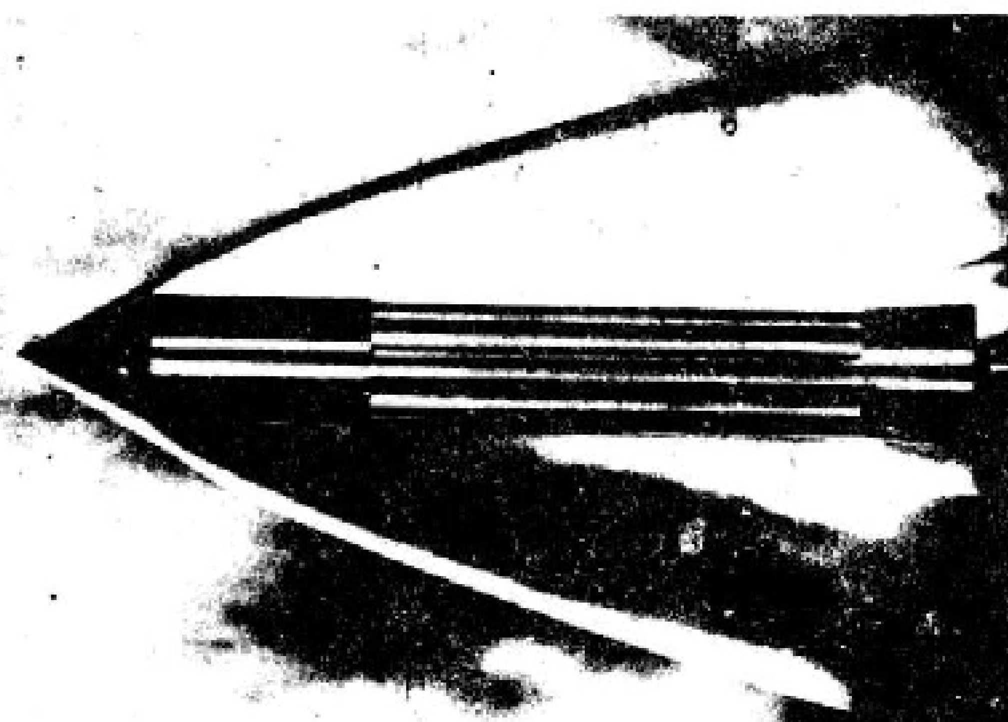


圖 16 — 77

已到達了圖中以 r_1 爲半徑所畫的圓的位置，在這裏 r_1 小於聲源所走的距離；當然，在 x_2 處又會有聲波發出。當聲源再向前進行到 x_3 的位置時，同時又有一聲波在該處發出。現在，原來在 x_2 處發出的聲波，已擴展到以 r_2 爲半徑的圓的位置，而原來在 x_1 處發出的聲波，已擴展到以 r_3 爲半徑作圓的位置。當然這一系列的事情是連續發生的，並不是一步一步的來。因此我們可以得到一系列的波圓，而這波圓的公切線一定會通過聲源目前所在的位置。我們發現這個聲源現在所產生的波前（*wave front*）並不是從前在靜止狀態時所產生的球面波。現在所產生的波前，在三度空間是一個圓錐面，而在二度空間則是二條直線。錐角的大小是很容易就可以知道的。例如經過某一段時間以後，聲源走了 $x_3 - x_1$ 的距離，此段距離與聲源的速度成正比。在這個同時，波前擴展了 r_3 的距離，這段距離與波的相速度成正比。因此我們可以很清楚的知道，半頂角的大小如果以其正弦函數表示，則等於波的相速度 c_w 除以波源運動的速度 v。因爲正弦函數的絕對值小於 1，所以下式僅在 c_w 小於 v 時，也就是當物體運動的速度大於波速時才有解，

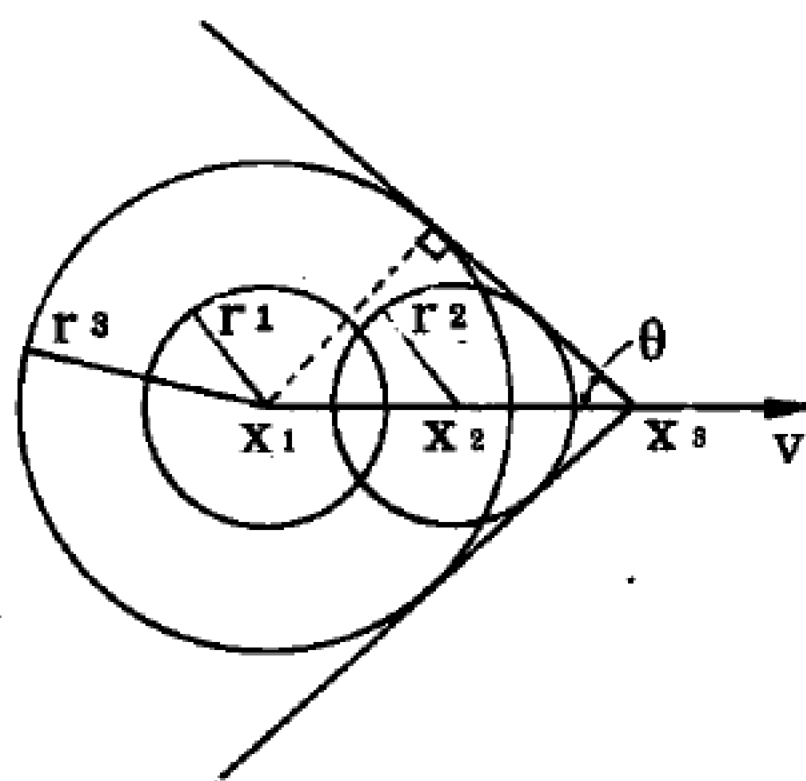


圖 16 — 78
一個激震波的波前，其包跡是一圓錐，頂點在波源，且半頂角爲 $\theta = \sin^{-1}\frac{c_w}{v}$。

$$\sin\theta = \frac{c_w}{v}$$

利用光學儀器可見超音速物體確實產生的一個錐面波。光也會發生同樣現象，發射一個以非常接近眞空中光速的高能帶粒子穿過玻璃磚，而光在玻璃中的速度只有在眞空中速度的 2／3，因此運動速度大於光在介質中速度的粒子，將會產生一種頂點在光源的錐形光波。

【錐動擺】（Conical pendulum）

質量m以長度為L之線懸掛於一固定點，使其以ω之角速度繞鉛直線旋轉，此一裝置稱為錐動擺。

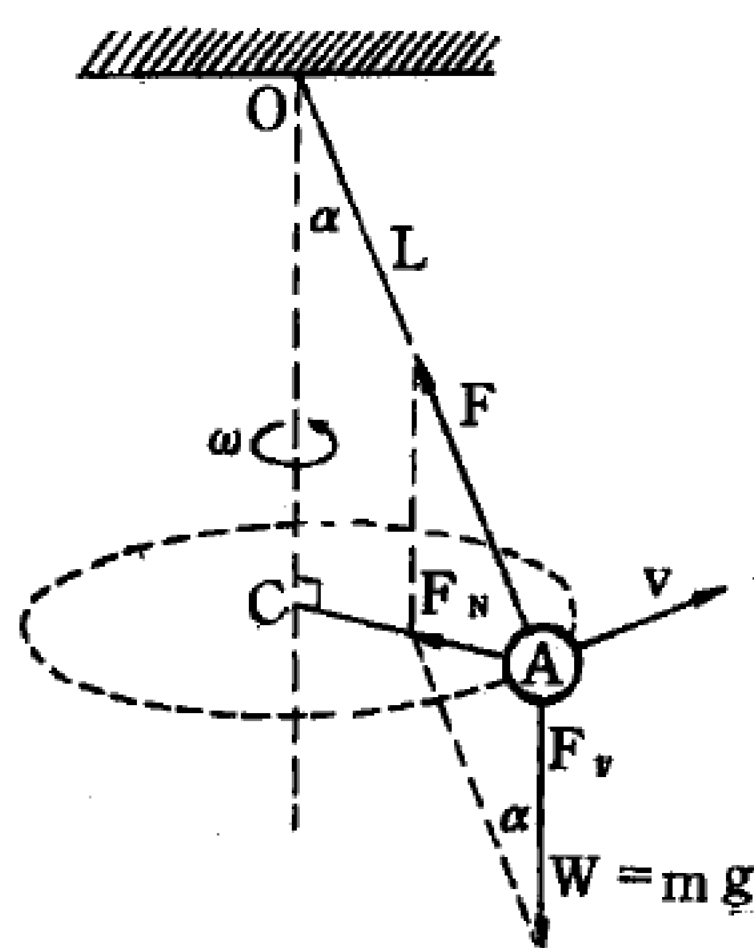


圖 16— 79　錐動擺

此系統如圖 16 — 79所示，小球A繞鉛直線OC運動，畫出一個半徑為$R = CA = OA\ \sin\alpha = L\sin\alpha$ 之圓。作用於A之力有物體之重量$W = mg$ 及繩上之張力F，其合力F_N 必定恰好等於物體作圓周運動所需之向心力，因此

$$F_N = m\omega^2 R = m\omega^2 L\sin\alpha$$

又因　$$F_v = F\cos\alpha = W$$

∴張力　$$F = \frac{mg}{\cos\alpha}$$

且向心力$F_N = F\sin\alpha = m a_c$，故向心加速度

$$a_c = \frac{F\sin\alpha}{m} = \frac{mg}{\cos\alpha}\cdot\frac{\sin\alpha}{m} = \frac{g\sin\alpha}{\cos\alpha} = g\tan\alpha$$

又從圖中我們可以看出

$$\tan\alpha = \frac{F_N}{W} = \frac{\omega^2 L\sin\alpha}{g}$$

或者因為$\tan\alpha = \sin\alpha / \cos\alpha$，而得

$$\cos\alpha = g / (\omega^2 L)$$

因此，當角速度ω愈大時，懸線與鉛直方向之夾角α也愈大。錐動擺之

週期為　$$T = 2\pi\sqrt{\frac{R}{a_c}} = 2\pi\sqrt{\frac{L\sin\alpha}{g\tan\alpha}} = 2\pi\sqrt{\frac{L\cos\alpha}{g}}$$

一錐動擺轉動愈快，週期之值愈小，α愈大，即擺錘升高。若α甚小時 $\cos\alpha$ 趨近於 1，此時其週期與單擺的週期相同。

【錼】(Neptunium ; Np)

原子序爲 93 的化學元素，其半衰期爲 2.2 日，由阿貝森 (*Philip H. Abelson*) 和麥克米蘭 (*Eduin M. Mc Millan*) 於1940年所發現。以 16 MeV 能量的中子流撞擊氧化鈾，然後以放射化學分離的方法，可以產生錼 - 238，其反應方程式如下：



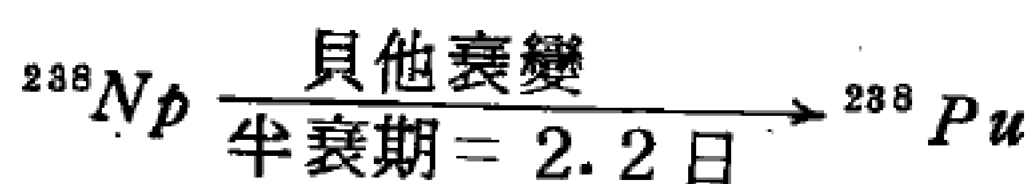
$$^{238}U + D \rightarrow {}^{238}Np + 2n$$

【錼系】(Neptunium series)

由錼 - 237，人造核種，放射衰變所形成的一系列核種。許多人造核種也衰變入這一系列。錼系的最終產物是鉍 - 209，也是本系列中唯一存在於自然界的核種。

【鈽】(Plutonium ; Pu)

原子序爲 94 的化學元素，由錼 - 238 放出 β 粒子 (負性電子) 產生的，其質量爲錼-238 的同位素。



$$^{238}Np \xrightarrow[\text{半衰期} = 2.2\text{日}]{\text{貝他衰變}} {}^{238}Pu$$

鈽的半衰期大約爲 50 年。

【隧道二極體】(Tunnel diode)

隧道二極體或稱伊氏二極管 (*Esaki diode*) 爲一小型 $N - P$ 半導體裝置，是一種藉隧道效應製成的二極管。其 $N - P$ 半導體滲入之雜質原子之濃度大於普通二極體數仟倍，普通二極晶體中滲入雜質原子每立方厘米約爲 10^6 至 10^{17} 之間，而隧道二極體滲入雜質原子每立方厘米可達 10^{20}，使 N 型與 P 型物質間的接合面區域更爲微薄(約在 0.000001 cm 厚)，於是隧道效應 (*tunnel effect*) 在接合面無偏壓情況卻有導電發生，而對於高頻工作許可範圍更爲提高。

圖 16 — 80 爲普通二極體與隧道二極體特性上的比較，普通二極體順向偏差 (*forward bias*) 非達到 0.5 伏左右才有電流發生，逆向偏

壓（*reverse bias*）時，呈現高電阻特性，逆向電非達到破壞值，逆向電流是非常微小的。

但是隧道二極體，由於雜質原子數目較多，自由電子及電洞的導電幾在零偏壓時已發生，因此隧道二極體工作所消耗的功率甚低，故隧道體二端施予一微小之順向偏壓時，此微小的順向偏壓促使自由電子與電洞加速，於是順向電流幾成直線上增，如曲線之尖峯（*peak*）部分，此後順向偏壓繼續增加，電流反而最低，即曲線的低谷（*valley*）部分，最後電流復又隨順向偏壓增加。

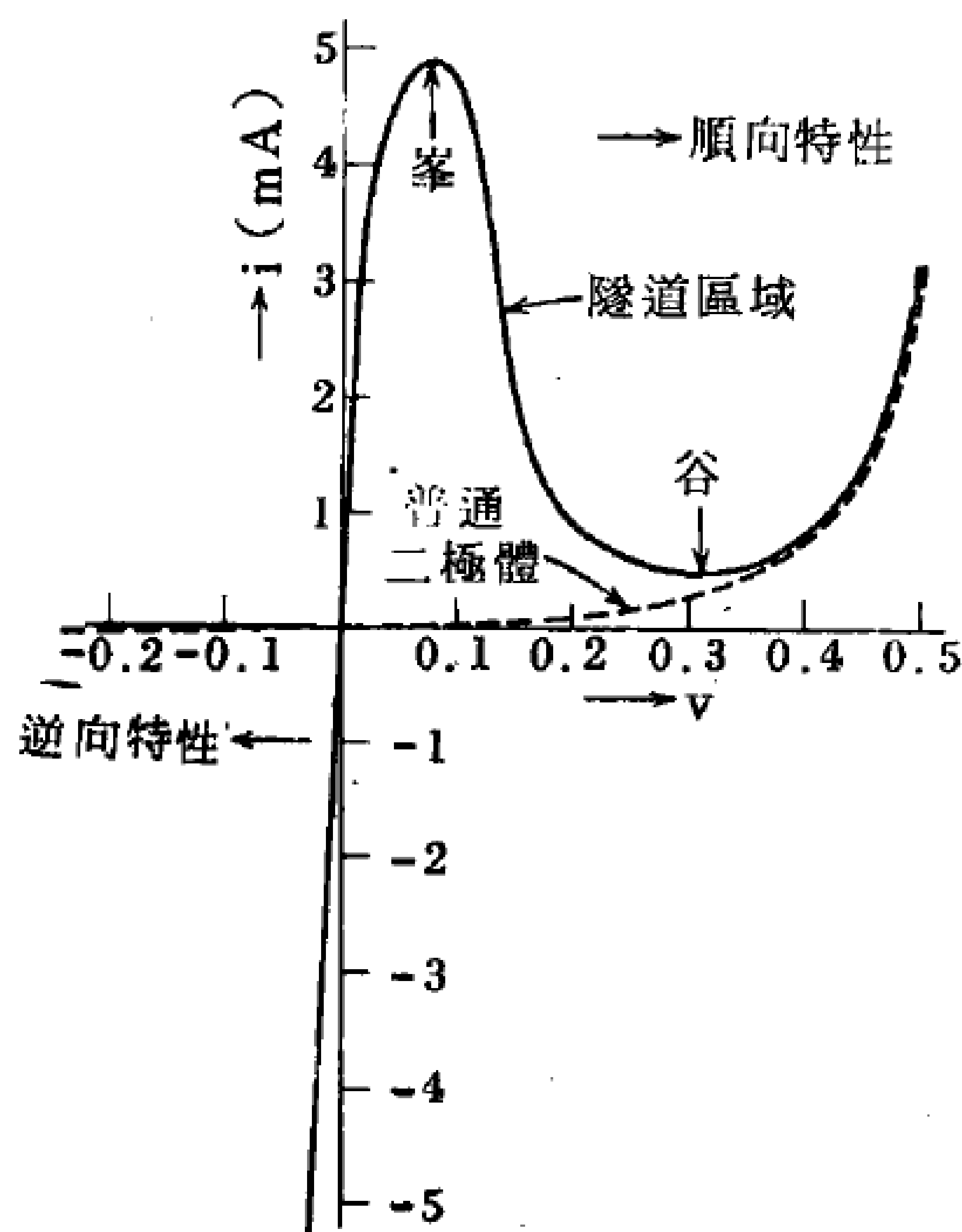


圖16—80　典型隧道二極體之特性

於是隧道體與普通二極體具有不同的特性，即順向電壓增加電流減少，曲線的低谷部分呈現一負電阻（*negative resistance*）特性，這種特性表示隧道體能使直流供給能量轉變爲*A.C.*電路能量供給特性。一具隧道二極體，和一具供給此二極體達到負電阻點的偏壓電壓的電池，一個電容器及一個電感所形成的共振系統，可形成極簡單的無線電發送機。

隧道體與普通二極體特性的不同，用能階觀念或半導體特質很容易予以說明。

P－*N*物質接合瞬間，*N*型物質中部分自由電子立即墊補*P*型物質之電洞，因此在接合瞬間僅局部自由電子導電。

當*N*型物質失去自由電子後，*N*型物質中雜質原子成正離子，*P*型物質接合自由電子後，雜質原子成負離子，於是接合面建立一位壘電勢，阻止電子與電洞繼續導電，除非順向偏壓克服位壘電勢後，否則無電

流發生。

隧道二極體則因晶體物質中滲入之雜質原子較N型與P型物質中有豐富的自由電子與電洞，此因隧道體的能隙減少，因此$P-N$接合瞬間，並無順向偏壓時，自由電子與電洞結合數量非常大，此時導電的電流直線上升到達曲線的頂峯。

自由電子與電洞結合的數目愈多，位壘電勢則跟著愈大，此時自由電子與電洞結合逐步減低，雖然順向偏壓不斷增加，在偏壓未超過位壘電勢前，不能克服此位壘電勢，電流反而減少，直至順向偏壓超越位壘電勢後，導電電流復再上升，此即爲傳統的正向電流，如一般$P-N$接頭的情況。

如以量子能階來說明隧道效應，圖16—81(*a*)爲$P-N$隧道二極體的能階圖，因各物質滲入雜質原子濃度大，N與P物質位壘甚薄，參考能階甚爲接近，導帶中自由電子以極高能量充入P物質之價帶，相當於隧道（*tunnel*）之鑿穿，因此無外來電源作用時，產生較大的電流。

當賦予一甚小之順向偏壓時，如圖16—81(*c*)，N晶體電子能夠流過空隙最多，即費米（*Fermi*）能階恰在中央。如順向偏壓繼續增加，因沒有空的能階可被電子佔據，兩能階不在同一高度，如圖16—81(*d*)。圖

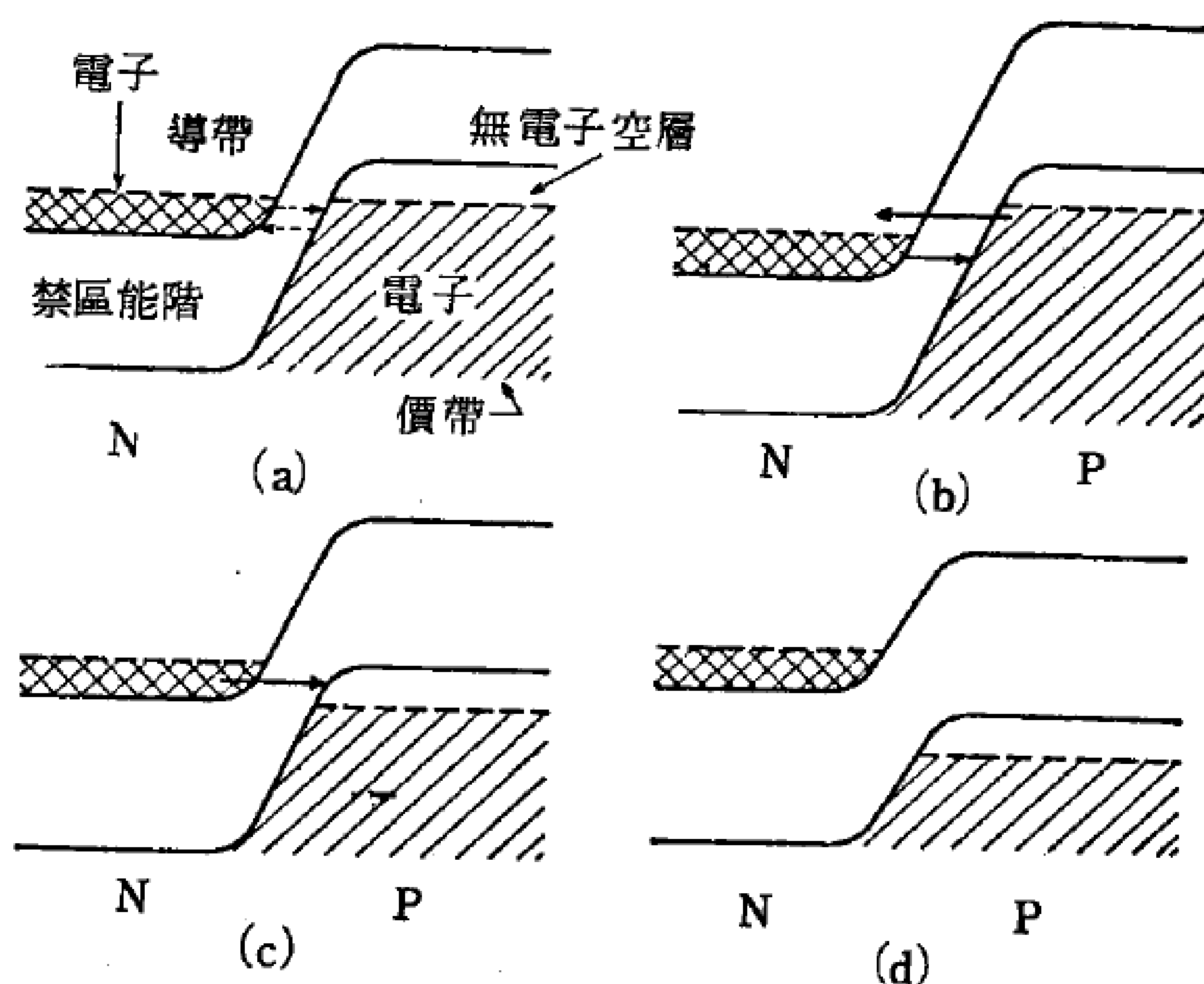


圖16—81　隧道二極體之能階關係

16 — 81(b)爲逆向偏壓時之情形。

【隧道效應】(Tunnel effect)

粒子穿越比粒子能量爲高的位壘的現象稱爲隧道效應。此事首爲季納(*Zener*)所論及，彼表明在價電中之電子並毋庸更改彼等之能量，即可以在強局部電場之作用下貫穿若干禁隙縫至於傳導帶中之空無狀態，反之則反是。這種效應在原子核阿伐衰變中被觀察到，例如 ^{238}U 的原子核，經過阿伐衰變放出 α 粒子，因爲 α 粒子爲帶兩個正電的氦原子核，它和 ^{238}U 的正電荷原子核之間有很大的正庫倫位能，此正位能的大小若以距離爲 3×10^{-12} 厘米計算，約爲 $8.8MeV$，所以按照古典力學的理論，α 粒子的能量必須大於 $8.8MeV$，才能穿過此障礙而脫離鈾原子核，事實上測得 α 粒子的確實能量只有 $4.2MeV$，所以應該是隧道效應的結果。一個德布洛利波落在一個高度爲 U（如圖 16 — 82），比質點動能爲大的電位位壘上，波是部分反射和部分透射；在古典物理中，此事爲不可能，但在量子力學中卻是允許的。又如儘管折射率在

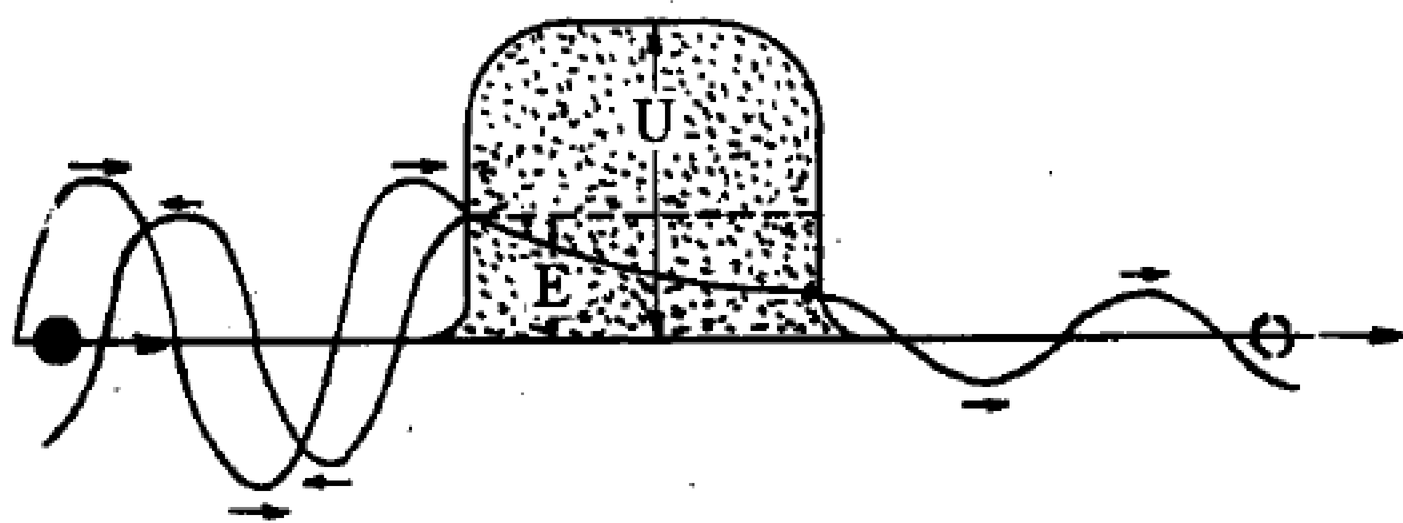


圖 16 — 82　隧道效應

金屬內部恆爲虛數（虛折射率相當於 $E-V(x)<0$），極薄的金屬片仍可准許光線通過；如果光線是依照牛頓定律運動的微粒，這種情形顯然全無可能。

應用波動力學，可以合理解釋這種隧道效應。爲簡單起見，考慮一維方形位壘。此位能在各處均爲零，只有在 0 與 a 之間位能 V 才有定值 V_0。現要解的波動方程式是一維薛丁格方程式

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}u(x)+v(x)u(x)=Eu(x)$$

$$V(x)=\begin{cases}0 & x<0 \text{ 及 } x>a \\ V_0 & 0\leq x\leq a\end{cases}$$

且　　$V_0<E$

其解為平面波形式，在到位能位壘時，有反射波與透射波產生，其形式分別為

$$u(x)=Ae^{ikx}+Be^{-ikx} \qquad x<0$$

$$u(x)=Ce^{ikx} \qquad x>a$$

透射率 $|C/A|^2$ 就是表示經過隧道效應後通過粒子的多寡，其大小為

$$\left|\frac{C}{A}\right|^2=\left[1+\frac{V_0^2 \sinh^2 \beta a}{4E(V_0-E)}\right]^{-1}$$

式中 $\beta=\left[\frac{2m(V_0-E)}{\hbar^2}\right]^{\frac{1}{2}}$。

【隨遇平衡】(Neutral equilibrium)

物體在任何位置之位能，均為相同時；其靜止則名為隨遇平衡。卽其重心距四周之距離相等，而物體傾斜或轉動時其重心亦不變；若稍微在物體上部用力，力除去後就靜止。如推皮球卽屬一例。

【霎】(Shake)

用於微觀物理學之一種時間單位。一霎等於 10^{-8} 秒。

【霍夫士塔脫】(Robert Hofstadter 1915-)

1915 年二月五日，生於紐約，1938 年獲得普林斯頓大學博士。自 1950 年起霍夫士塔脫對原子核構造作有系統的研究，使用線型加速器，產生高能量的電子射束，轟擊原子核而予以研究。被原子核散射的電子，用磁力分譜計量之，顯示原子核的表面並非顯明一定，這表示質子及中子的外層圍繞兩層不能穿透的介子雲。質子中其兩層介子雲都帶正電，故全部淨電荷為正；中子的一層介子雲為負，故淨電荷為中性。

霍夫士塔脫因發現這種結構，與莫士包（*Mössbauer*）共獲1961年諾貝爾物理學獎（莫士包係因發現無反衝輻射獲獎）。霍夫士塔脫現爲美國國家科學院院士，在史丹福大學任教。

【霍姆茲年代指標】（The Holmes time-scale）

霍姆茲（*Arthur Holmes*）與豪特曼斯（*F.G.Houtermans*）理解用質譜儀譜分析鉛，可使合理的計算地球年紀變成可能。在無互相影響的情形下。他們各採自己很少的有用數據，各自計算得地球的年紀爲二十至三十億年。以後數以千計的分析都指出今日地球的年紀爲四十五億年，和他們早期的估計比較起來，相差並不多。

霍姆茲年代指標　　（單位：百萬年）

紀	本紀開始距今	持續的時間
更新紀		（大約）1
………	（大約）1	……………
上新紀		10
………	11	……………
中新紀		14
………	25	……………
漸新紀		15
………	40	……………
始新紀		20
………	60	……………
古始新紀		10
………	70±2	……………
上白堊紀 下白堊紀		65
………	135±5	……………

上侏羅紀 下侏羅紀		45
·········	180 ± 5	············
三疊紀		45
·········	225 ± 5	············
二疊紀		45
·········	270 ± 5	············
上石炭紀 下石炭紀		80
·········	350 ± 10	············
上泥盆紀 下泥盆紀		50
·········	400 ± 10	············
赤留紀		40
·········	440 ± 10	············
奧陶紀		60
·········	500 ± 15	············
寒武紀		100
·········	600 ± 20	············

【霓】(Secondary rainbow)

霓常現於虹之外圍，光色較淡，映於太陽之反對方向。成環狀，外紫內紅。其成因與虹大致相同，惟其各色光在水滴中作二次全反射後出射線與入射線的偏向角不同，紫光偏向角約爲 $54°+180°$，紅光約爲 $51°+180°$。霓爲天然的光譜，光之折射恆與色散相伴而生，以透鏡造成之像，常帶色彩，即由於此。

參閱“虹(*Primary rainbow*)”條。

【霓虹燈】(Neon lamp)

即氖燈。是一種冷陰極放電管把直徑為 12～15mm 的玻璃管彎成各種形狀，管內充以數 $mmHg$ 壓力的氖氣等氣體，每 1 m 加約 1,000V 的電壓時，會依管內所充的氣體的種類，或氬玻璃管壁所塗的螢光物質而發出各種顏色的光，因此用來作為夜間的廣告等。若把電容器接在霓虹燈的兩極上，則可做成一明一滅的廣告。電容器大，明滅循環的時間長；電容器小，則明滅的時間較短。

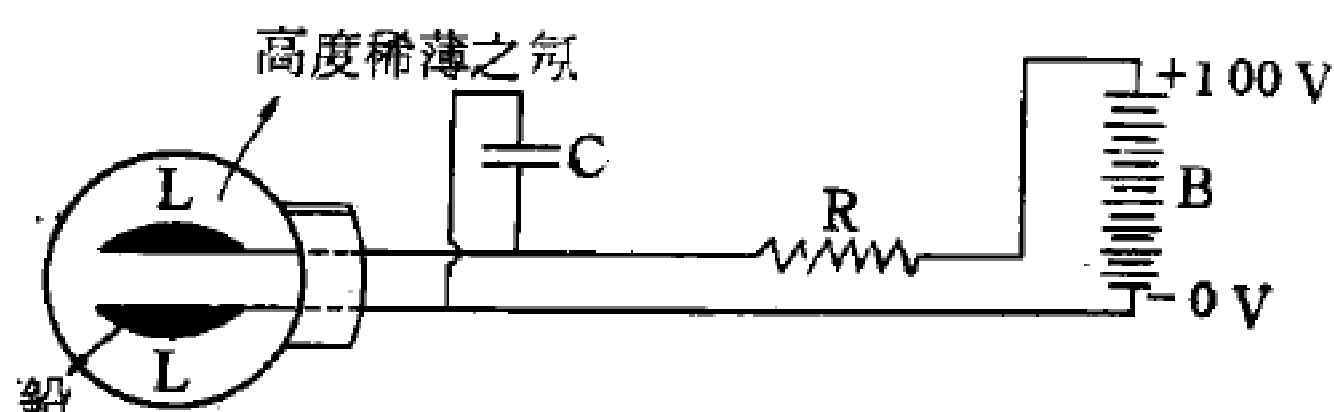


圖 16 — 83　霓虹燈

參閱"螢光燈 (*Fluorescent lamp*) "條。

【靜力場】(Static field)

電磁場表現兩種形態，其一隨 r^{-2} 或更快地衰減 (r 為場點與源點的距離位)，稱為靜力場。另一隨 r^{-1} 衰減是為輻射場，其表現為電磁波。如點電荷在等速運動，則只能產生靜態場，只有加速電荷才能產生輻射場。在輻射場中，$\vec{E}$ 與 $\vec{B}$ 互相垂直，並均與 $\hat{r}$ (波的傳播方向) 垂直。

【靜力均衡】(Static balance)

靜止時的均衡。一靜止均衡的物體，在各位置皆成均衡，且於運動時，無需再使均衡。

【靜力學】(Statics)

注重研究於物體之平衡 (*in eauilibrium*) 之學說。

【靜子】(Stator)

1. 電機線圈及磁路的靜止部分。
2. 可變電容器的靜片組。

【靜止】(Rest)

無論何時，皆在同一的位置者，叫做靜止，例如房屋等是。

【靜止摩擦係數】(Coefficient of static friction)

靜止摩擦力是作用於彼此靜止的兩個接觸的表面上。使物體開始運動的最小力量等於最大的靜摩擦力。物體放在一表面上有其正交力，以 N 表示之，最大靜止摩擦力與正交力的比值 μ_s 稱爲靜止摩擦係數。若以 f_s 表靜止摩擦力，則得 $f_s \leq \mu_s N$，其等式是在 f_s 爲最大值時才成立。

【靜伏特】(Statvolt ; stV)

靜電系電位單位。當一靜庫倫電荷於電力場中由一點移至另一點，所作之功爲一爾格 (*erg*) 時，此兩點間電力位差定義爲一靜伏特。一靜伏特等於 $c/10^6\ V$ ，或約等於 300 伏特。

【靜安培】(Statampere ; stA)

爲一靜電系電流單位，相當於每秒一靜庫。即

$$1\,stA = \frac{10^{-9}}{3}\,A$$

【靜自動音量控制】(Quiet automatic volume control)

是一個延遲自動響度控制，當在調節於臺與臺之間時，背景雜音甚弱。

【靜法拉】(Static farad)

爲電容的單位，它的定義爲一導體帶 1 靜庫倫的電荷時，使導體的電位爲 1 靜伏特時的電容量，1 靜法拉等於 9×10^{11} 法拉。

【靜音】(Static sound)

凡頻率超過每秒兩萬週的音波，稱爲靜音。人類聽不見狗嘯聲和蝙蝠飛行時發出高頻率的尖叫音波，就是因爲其頻率超過兩萬週。超音波的能量，隨著頻率的增加而增加。利用此種能量可以做很多事情。例如警報器，超音波鑽子和利用超音波放射治療等。

【靜流體系統】(Hydrostatic system)

在沒有表面效應、重力效應及電磁效應時，對環境施以均勻靜流體壓力的定質量系統，稱爲靜流體系統。可分成以下幾類：

1.純物質——只有一種化學組織成分，它可能是液態、固態、氣態，或任何二態的混合，或三種形式的混合。

2.不同組成分子的均勻混合物——例如幾種惰性氣體的混合物，幾種化性活潑的氣體之混合物，幾種液體的混合物，或是一種溶液。

3.複相混合物(*heterogeneous mixture*)——例如幾種氣體的混合物與幾種液體的混合物相接觸所成的系統。

實驗顯示，一個靜流體系統的平衡狀態，可以用三個坐標描述，那三個坐標是系統對環境所施的壓力P、體積V和絕對溫度θ。壓力以達因／平方厘米(*dyne*／cm^2)單位，體積用立方厘米；最方便的溫標是理想氣體溫標。在熱力學的種種應用上，人們採用其他的壓力單位：磅／平方吋，大氣壓(*atm*)，毫米汞柱(*mmHg*)，仟克／平方厘米(*kg*／cm^2)。除非特別註明所用單位，我們所用的只有*C.G.S.*單位制。

【靜能】(Rest energy)

在相對論力學裏，質點在靜止時亦被看作具有能量，此稱爲靜能。事實上，因質量爲能量之一種形式，可認爲靜止物體因其靜質量而有m_0c^2之能量。

【靜液天平】(Static liquid balance)

用黃銅製造的實心圓筒A，經過精細磨光以後，剛好可以密切配入一個空心圓筒B之中。於是，A體積就等於B體積。我們將配入之圓筒A拉出，並用一根細線，將其掛在一架天平的右秤盤底面的小掛鈎上；該右秤盤係用一根較短的線掛著的，故比左秤盤爲高。這樣裝備的一種天平，我們稱之爲靜液天平(圖16－84)。將水注入空心圓筒，使其

剛好注滿到筒口，然後再將空心圓筒放在左秤盤上，設法使天平趨於平衡。

現在再將實心圓筒*A*，浸入有水的容器中，此時左秤盤的下墜，即實心圓筒*A*，在水中變得較輕。爲著要再使天平趨於平衡，我們就必須將空心圓筒中的水，全部傾倒出去。於是，我們必須在左邊圓筒*B*中，倒出與右邊圓筒*A*所排除的相等的水量。由此，我們可以看到，實心圓筒在*A*水中所失去的重量，剛好等於在*B*筒中與其體積相等的水量，這也就是圓筒*A*於浸入水中時所排除的水量，因而證明了阿基米德原理。也可以用其他液體來進行，例如石油、酒精、牛乳、油類等等。

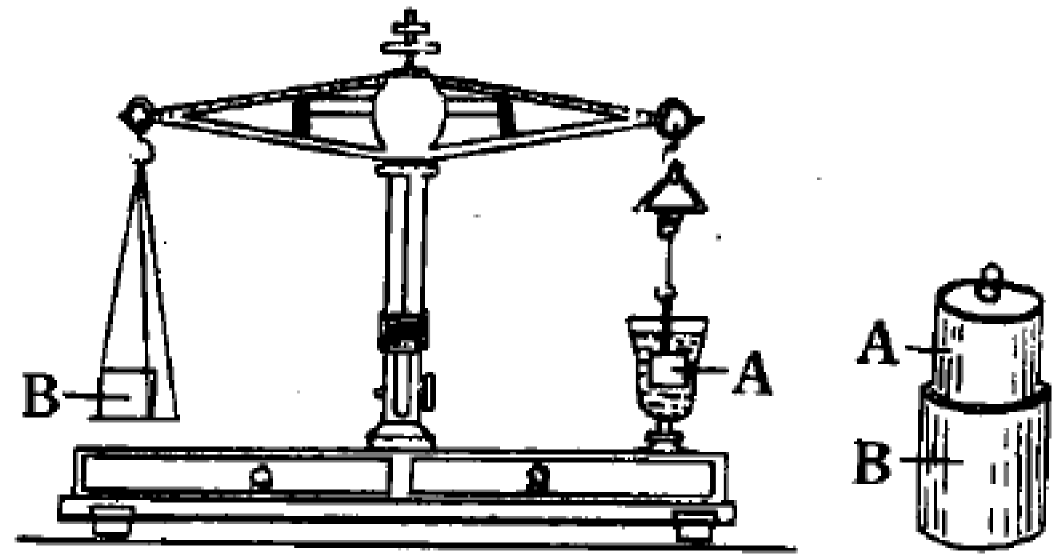


圖 16—84
用靜液天平來做阿基米德原理的實驗

【靜液伸縮箱】(Static liquid expand and contract box)

靜液伸縮箱（圖 16—85），是一個充滿了水的箱形物，四周係用不透水的帆布或是皮革做成壁面，並且與一根直立的管子連接起來。如果踏上箱形物的頂蓋，便會以 75 仟克的重量，壓在水面上，也就是說，如果頂蓋的面積是 675 厘米²，則其所受之壓力卽爲 $\frac{75}{675}=\frac{1}{9}$ $\frac{仟克}{厘米^2}$。這一壓力會經由全部液體，傳佈出去，當然也包括直立管子裏面含有的水在內，因而使其上升。但是所覺察到的升高度是不大的，而且這一從原來水位量起的水位升高度，在這一個例子中，必須能與 $\frac{1}{9}$ $\frac{仟克}{厘米^2}$ 相平衡，因而必須具有 $\frac{10}{9}=1\frac{1}{9}$ 米的高度才行。如我們所知，10 米的水柱，無論其斷面積大小如何，始終是相當

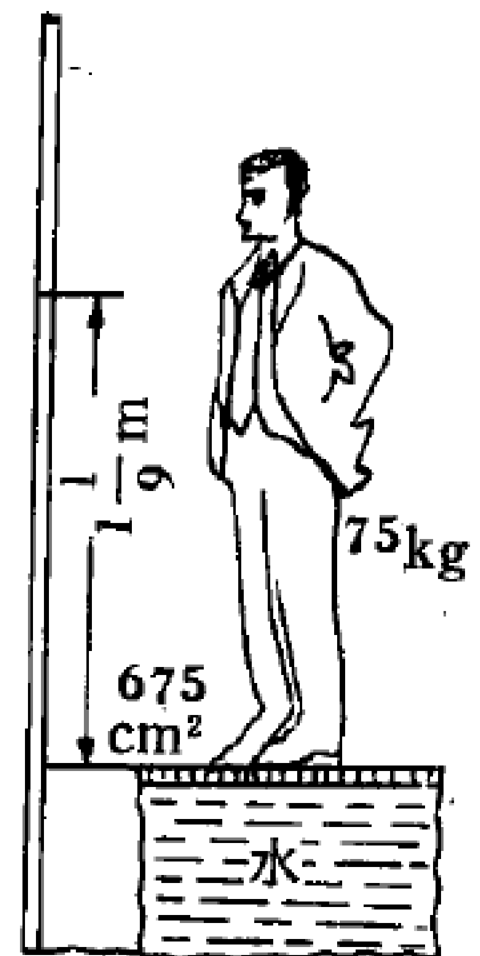


圖 16—85
靜液伸縮箱

於 $1\frac{仟克}{厘米^2}$。因此全部體重能由於極少的水之重量，而保持著平衡的狀態，甚至於還可能將自身的重量稍稍擧起（如果在直立管子的開口一端吹氣進去）。

【靜推挽】（Quiescent push-pull）

當一管放大時，另一管就處於靜止中。未接信號時，電子管無電流，故無雜音。

【靜電】（Static electricity）

靜電爲滯留在物體表面的電荷，即靜止不動的電荷。藉摩擦所生的電荷，停留在物體之中不動，或雖有移動，但對物體電性並無影響。與這相對的，可以使馬達轉動，使電燈亮起來的電便叫動電。

尼龍等合成纖維因容易帶電，因此也容易吸引灰塵而沾污。在製造紙的過程中常受到摩擦而帶電。這樣的紙直接拿去印刷時，紙就容易貼住，嚴重時，還會發生火花而引起火災。

充量的靜電如不能通地則會發出火花，故此種火花常有釀成火患的可能。汽車急速奔馳時，車體各部分的摩擦，或與空氣中的灰塵摩擦，車體也會帶電。由於車胎是絕緣體，儲在車體的電即無處可跑，因此輸送汽油的卡車，在充灌或放出汽油時，這種電荷會因放電而引起火花，容易引起火災。載油車後的曳鏈，即用以放電，以免靜電在燃料附近凝集太多而有發生火花的危險。

【靜電力】（Electrostatic force）

靜電荷體間互相作用之力，稱爲靜電力。若帶同種之電，彼此互相排斥；若帶異種之電，則彼此互相吸引。

【靜電干擾】（Electrostatic interference）

雷電火花的強光，爲具有極廣頻率範圍和諧波（*harmonics*）的電磁波。這種電磁波，雖然是一種減幅波（*damped wave*），衰消極快

，但已足使百哩內外的無線電通信產生全面性的廣泛干擾（*interference*），稱為靜電干擾。

靜電干擾的來源，除天空雷電外；太空中的各種粒子射線及太陽的放射能，以及一切有機械振動的發電設備，或閃光性電源都有靜電干擾發生。因為靜電的頻率範圍極廣，且有非常複雜的諧波，所以極難用濾波器（*filter*）濾淨。因此，凡須接收極微弱的無線電訊號之處，例如太空通信、衛星轉播及探測宇宙及星際放射能的接收天線，必須選擇高原或深山之中氣候良好、地點開擴、極少雷雨，並能不受市區中人為靜電（*artificial static electricity*）干擾的位置，並用高增益（*high gain*）的集焦式定向天線以達成其目的。

通常的無線電接收機，大都使用室內天線，若必須使用室外天線，則因為雷電的電壓常高達百萬伏特以上，若遭遇強雷直接打擊，可引起嚴重的災害，故有所謂避雷器（*lightning arrester*）的設計。在接收機天地線之間，並聯一避雷器，有時確可使高壓雷電直接經避雷器而直接入地，但其效能有限，不能保障接收機的絕對安全。最妥當的辦法，還是在預計雷電來臨之前，把天線自接收機拆下直接通地，以策安全。至於家庭中電視接收機，若能使用室內天線時，以不使用室外天線為宜。此外，一切人為的靜電干擾，都是從日光燈、霓虹燈等的閃爍（*flicker*）以及由電動機、發電機、家庭電器用具中的碳刷（*carbon brush*）接觸處，或由內燃機發火裝置發生的火花而起，必須用隔離（*shield*）裝置予以吸收消滅，或加裝電壓穩定設備給以適當的限制。前者如在靠近燈管處的電源線中串接一鎮定抗流圈（*ballast choke*），通普日光燈蓋中都有此設置。後者如在碳刷或火星塞（*spark plug*）外部，加上金屬罩通地（*grounded*）而予改善，汽車引擎上及機車火星塞上都有此種罩子，不可任意卸除。

在機械工場中，由於摩擦和振動，使工場中空氣帶有靜電，既足影

響工人的健康，又易引發火災，故必須把廠房的金屬樑柱、屋頂及機器本身妥爲接地，以策安全。

利用原子能同位素的放射線照射，可以消除化學產品在製造過程中所帶的靜電，在造紙、紡織及塑膠工業中已普遍使用。

【靜電火箭引擎】(Electrostatic rocket engine)

此類引擎有時被稱爲離子火箭引擎(*ion rocket engine*)，其簡單結構原理如圖 16 — 86 所示。它與電漿火箭引擎類似，首先使推進劑之每一個原子移去一個電子，並將所移去的電子全部移開，然後用靜電場加速離子，向後以高速噴出而產生推力。

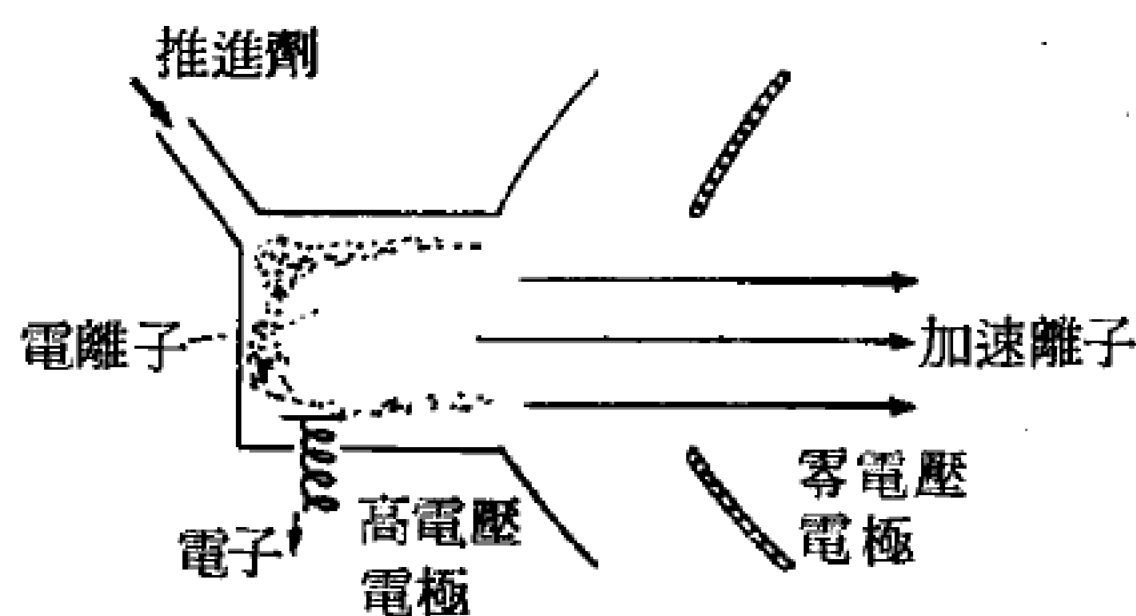


圖 16 — 86

離子火箭引擎工作簡單原理

此種靜電加速的原理可以圖 16 — 87 說明。一個帶正電的質點在電場中會向低處移動，科學家稱此潛在的電能以電壓(*voltage*)表之，而電壓的意義爲兩點間電潛在能力之差。離子的最終速度是依靠電壓之高低而定，所以噴出速度可以由電壓之高低而調節之。離子產生室連接高電壓，噴嘴尾部連接低電壓(零電壓)，如圖 16 — 88，因而在噴嘴與離子產生室之間建立一個電場，當離子通過電場時，即有力產生，作用在離子上，而使離子加速。

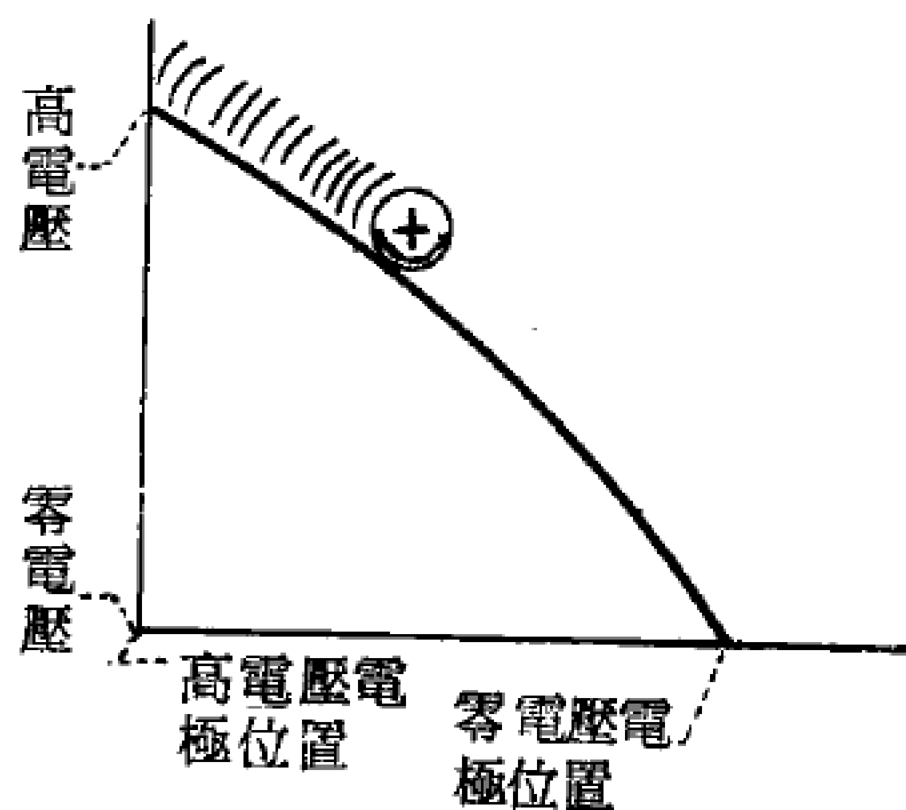


圖 16 — 87

靜電場加速離子說明

推進劑離子化時放出的電子必須遠離離子產生室，並送出太空船，以期能保持離子產生室之高壓。使電子遠離太空船需要很多電能，我們從這一方面來看，電能發生器(發電機)

就如同是電子泵一樣把電子送離太空船。在實際上，這些電子送離太空船後，須射入太空船噴氣中，好和噴出的離子中和。假如沒有此一中和的程序，我們可以想像到很多噴出的離子聚在太空船尾部將產生阻力而阻止新離子從噴口中噴出來。

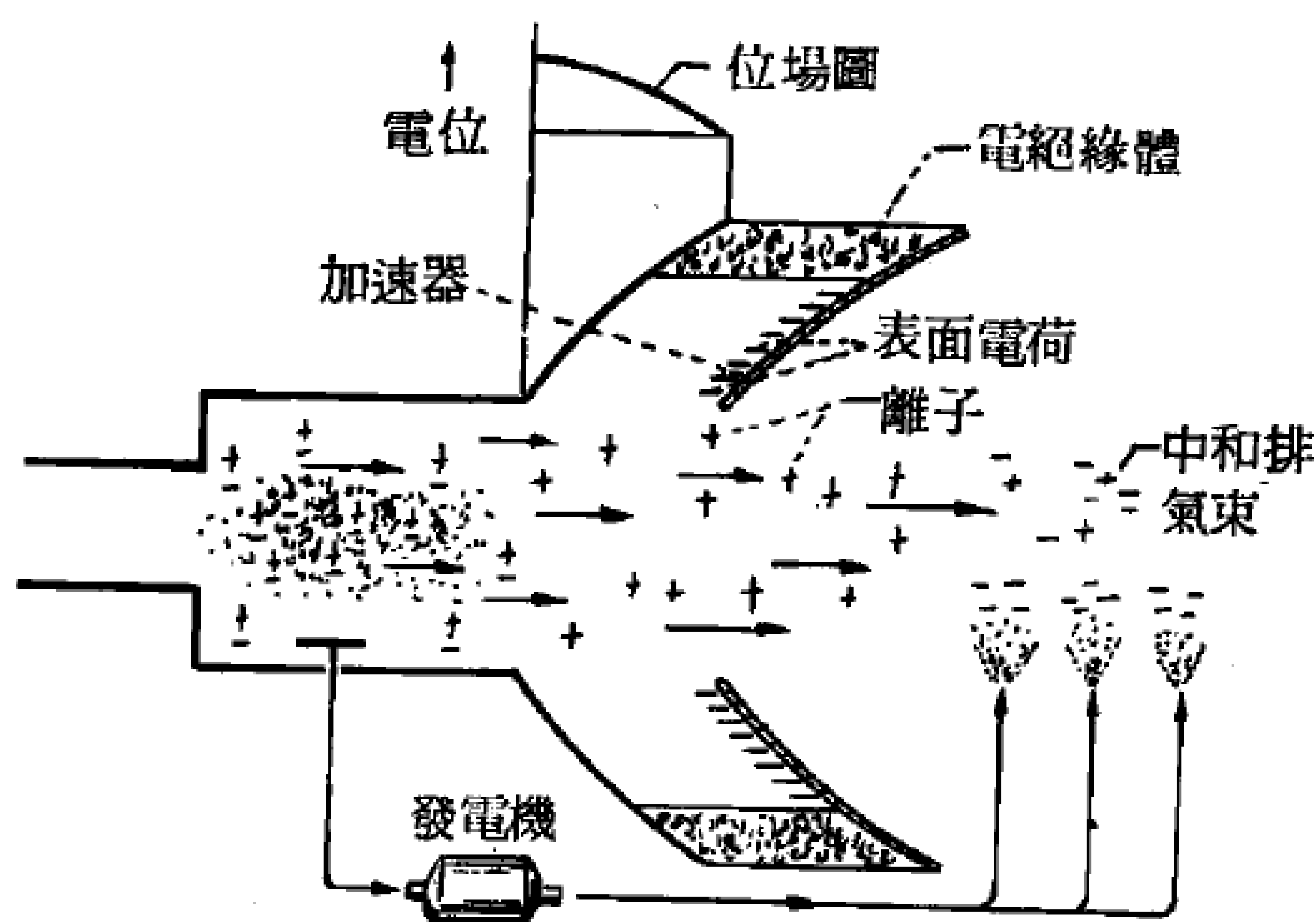


圖 16— 88　離子火箭引擎簡單結構原理

靜電火箭引擎產生推力的詳細情況可由圖16－89看出。因爲上述的中和作用，使在引擎尾部的電壓爲零（也就是沒有電場），我們也可以想到在離子產生室中剛剛產生離子時，其中離子數與電子數相同故也不會有電場。欲使離子噴出速度高時，則電壓（電場）的情形，應當是在剛出離子室外處爲最高，然後下降在尾部後，愈近尾部下降率愈高，在尾部後爲一無電壓地域。這個電場觸及噴嘴尾口，即產生表面電荷，在靜電火箭引擎中此種表面電荷爲負電，靜電吸力及離子衝出引擎而產生火箭推力。

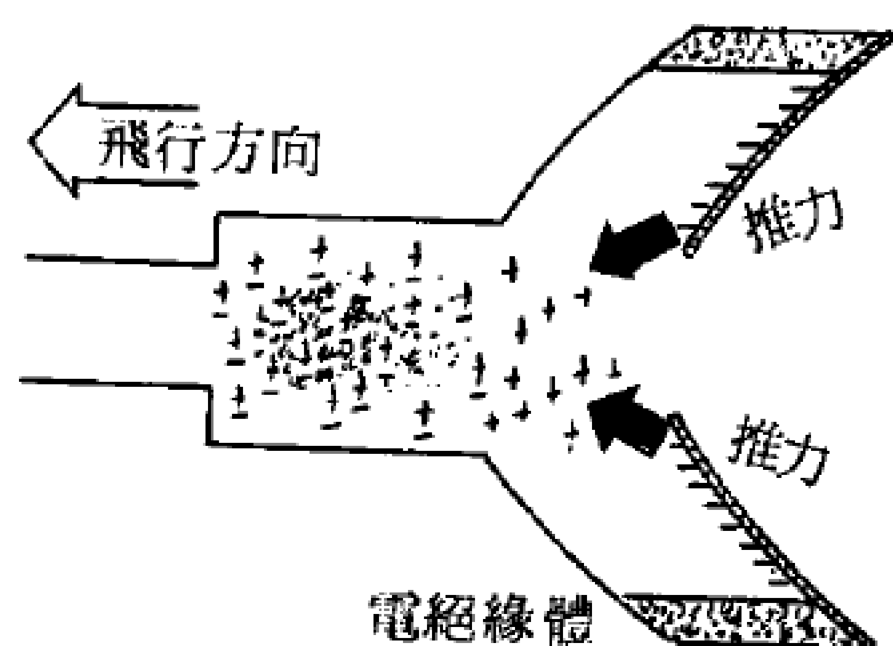


圖 16 — 89
離子火箭引擎衝力產生情況

美國曾以水銀爲推進劑製造一個試驗引擎。此種引擎用以控制太空船的位置，是現在所有引擎中效率最高者，大約可達90％　。另有一種用銫（ *cesium* ）作推進劑的靜電火箭引擎。靜電引擎產生推力非常小，但推進劑的消耗率過小，另外它們本身的重量很輕而且容易起動和停

止，其電源可用太陽電池供應，故最適合於控制壽命長的衞星。

【靜電加速器】(Electrostatic accelerator)

一靜止帶電質點經由一電位差V時，所獲得動能$\frac{1}{2}mv^2=qV$。靜電加速器即應用此原理製成。

一典型靜電加速器(圖16—90)應包含一眞空管。電力位差V係加於此管之兩端。管之一端置一離子源S，注射帶電質點於管中。帶電質點抵達管之另一端，獲得動能。然後此諸快速離子碰至一靶T上，此靶係依據實驗性質所選取之材料完成者。碰撞之結果，有些核子反應產生。打擊離子之能量轉移於靶上，靶必須常予以冷卻，否則它將被熔解或蒸發。

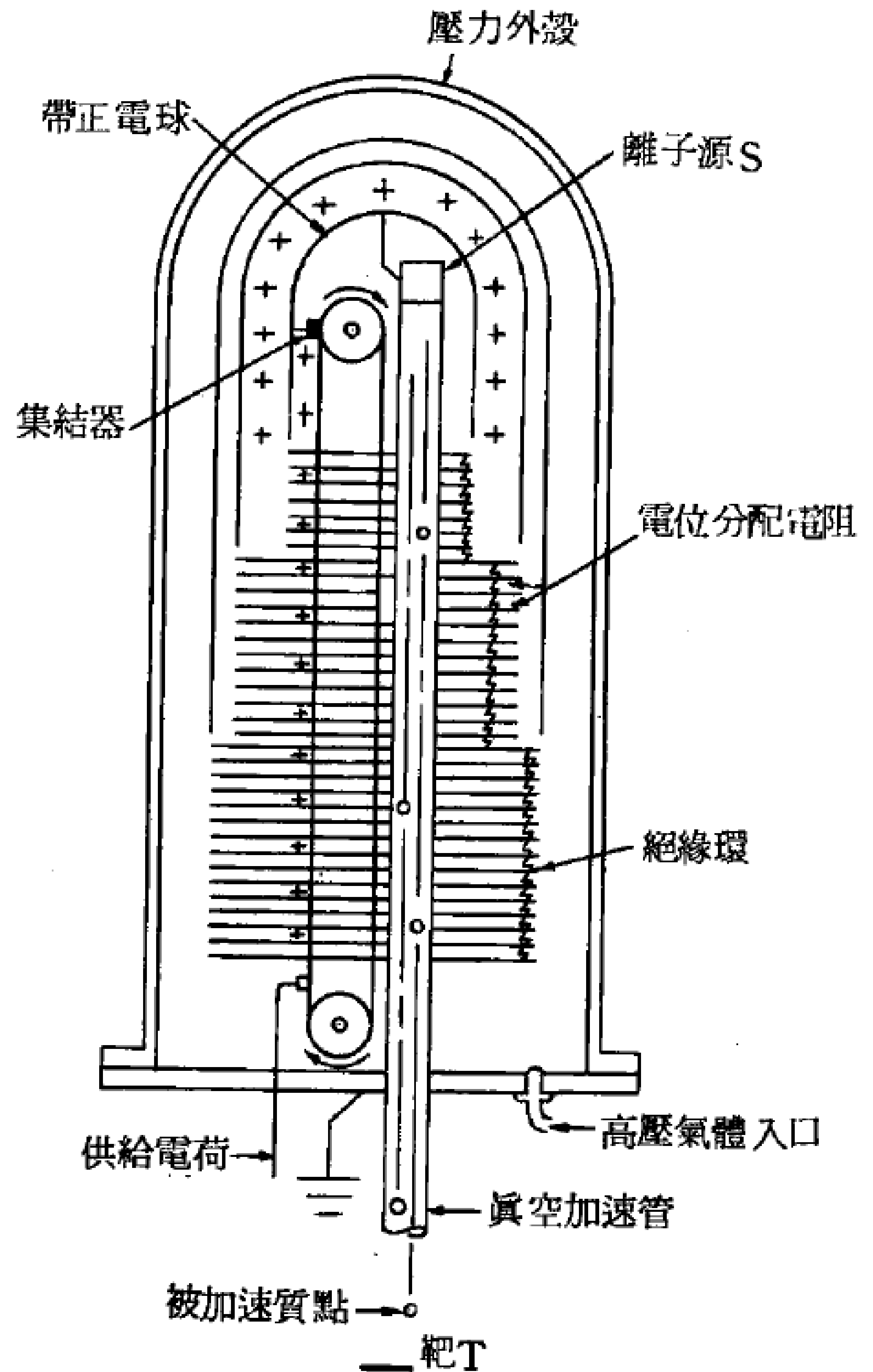


圖 16 — 90

范得格拉夫加速器截面圖。絕緣材料製成的帶以高速度於兩滑輪上運轉。電位源供給之電荷由帶之低端拾取而輸送至高端。集結器抽取此電荷送至金屬球頂上，於金屬球上建立高電位，加速管中高電位的一端產生正離子，離子經由管中電位差被向下加速。

靜電加速器有若干不同的類型，如柯克勞夫、沃耳吞加速器(*Cockroft-Walton type accelerator*)、范得格拉夫靜電加速器(*Van de Graaff electrostatic accelerator*)等。依產生電位差V之不同來分類。任一類型的靜電加速器均受最大電位差之限

制。此最大電位差乃是在無材料之電崩潰條件下，所施電位差之最大值，一般此電差不超過數百萬伏特。

【靜電四極矩】(Static electric quadrupole moment)

原子核中的電荷分佈成一旋轉橢圓球狀（ *ellipsoid of revolution* ），有一個對稱軸，所沿方向就是原子核的自旋角動量向量所繞以進動(*precession*)的方向。結果，原子核就有一個靜電四極矩Q。自旋角動量(*spin angular moment*)量子數 $i \geq 1$ 的諸原子核，有著$Q > 0$的情形（當橢球在沿對稱軸方向被拉長時）以及$Q < 0$的情形（當橢球在對稱軸方向上被扁平化時），但在 $i = 0$ 或 $\frac{1}{2}$ 的時候，$Q = 0$。不過電荷分佈異於球形的程度不會嚴重；在極端情況裏，半長軸對半短軸的比值約略爲 1 ： 2 。所以我們時常可以忽略這不同的程度，而假設爲一球狀的。原子核不會有靜電偶極矩，因爲這將相當於電荷分佈中心距質量分佈中心，有一恆定的位移，這是不可能發生的。

【靜電伏特計】(Electrostatic voltmeter)

這是一個電氣測量儀器，其中的測量系統與一個帶有一組極輕的轉動片的可變電容器相似（動片系統由彈簧保持在開始的位置）。當被測電壓加到這個電容器上時，電容器兩組極片上分別產生了不同的靜電荷，電荷間的靜電作用力就使動片系統發生偏轉。在薄板上形成的異性電荷吸力作用下，動片便被吸入於定片；極片上的電荷越多，則此吸入力便越強。動片向內吸入的角度，由跟它相連的指針和刻度來讀出。因爲電容器極片上的電荷與加於電容器的電壓成正比，所以根據動片吸入的角度便可以判斷所加電壓的大小。儀器上直接刻以伏特的度數，可用以測量直流電壓，也可用以測量交流電壓。靜電伏特表的特點是在量直流電壓或低頻交流電壓時，實際上都不需要電流，所以可用來測量高內阻電源的電壓，即用作高阻伏特計。

【靜電位】(Electrostatic potential)

將一電荷由電場某一點移至另一點所作的功，等於反運動方向的靜電力分量的線積分 (*line integral*)。假若我們將一電荷 q 由 a 點沿某一路徑移至 b 點，如圖 16 — 91，則根據功的定義

$$W = -\int_a^b \vec{F} \cdot \vec{ds} \quad (1)$$

$\vec{F}$ 是作用在該電荷上的電力。假若此電荷為一單位電荷，那麼 $\vec{F}$ 的值與 $\vec{E}$ 值相同。因此

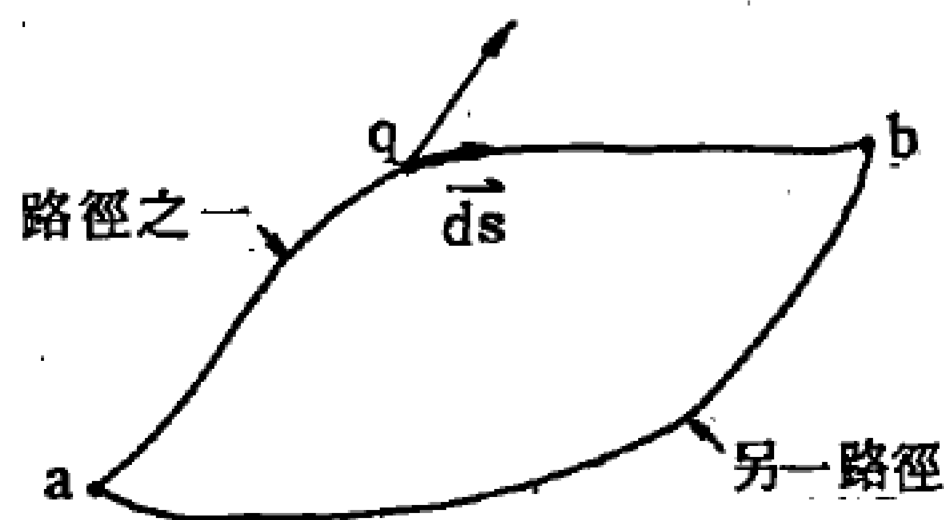


圖 16 — 91
將電荷由 a 點移至 b 點所需之功為 $\vec{F} \cdot \vec{ds}$ 沿電荷所經路徑的線積分的負値

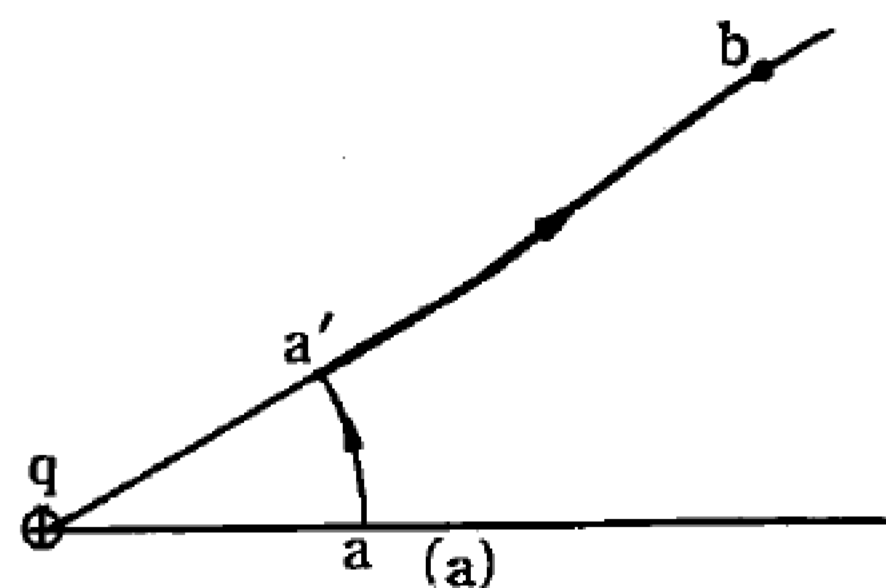
$$W\text{（單位電荷）} = -\int_a^b \vec{E} \cdot \vec{ds}$$

由能量守恆律，往返 a 和 b 端點，在返程時從電場抽出的功必然等於先前放入的功，故對抗靜電所作之功僅和端點位置有關，與其所選取的路徑無關。

將一單位電荷由 a 點移至 b 點所需的功。如圖 16 — 92，沿(*a*)之路徑時，我們先將此單位電荷由 a 沿著圓弧移到 a'，然後再由 a' 沿著徑向移至 b 處。因為庫倫力是聯心力，故由 a 至 a' 處不必作功，由 a' 至 b 處所需之功則為

$$-\int_{a'}^b \vec{E} \cdot \vec{ds} = -q\int_{a'}^b \frac{dr}{r^2}$$

$$= -q\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right) \quad (2)$$



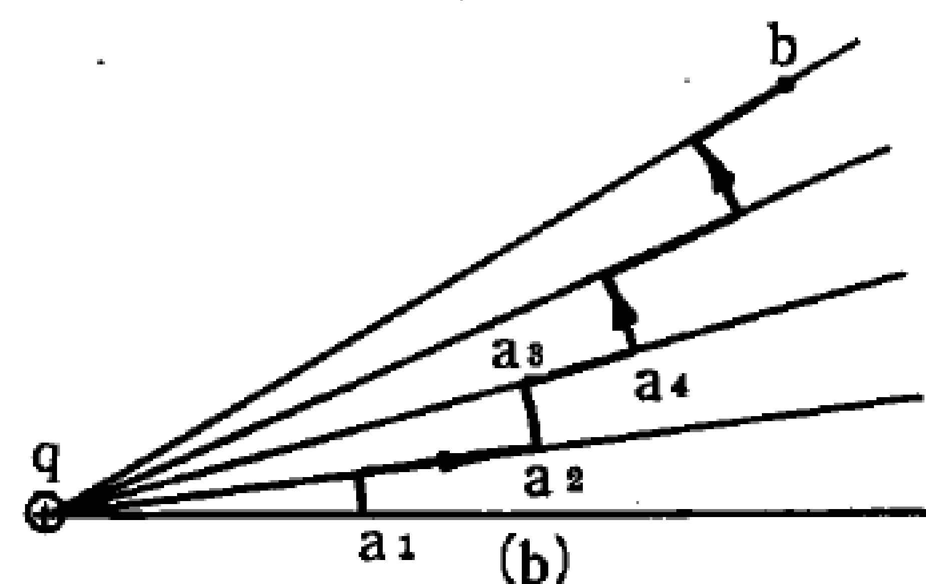


圖 16 — 92
將單位電荷分別沿(a)及(b)之路徑由 a 點移至 b 點所需之功相等。

假如現在我們將此單位電荷由(*b*)之路徑移動。先沿圓弧移動至 a_1，再沿徑向移至 a_2，再沿圓弧移至 a_3 等等，一直到最後到達 b 點。每次沿圓弧移動時所作之功為零，故由 a 至

b 所作之功爲

$$-\int_a^b \vec{E}\cdot d\vec{s}=-q\left[\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_{a_1}}\right)+\left(\frac{1}{r_{a_1}}-\frac{1}{r_{a_2}}\right)+\cdots+\left(\frac{1}{r_{a_n}}-\frac{1}{r_b}\right)\right]$$

$$=-q\left(\frac{1}{r_a}-\frac{1}{r_b}\right)$$

顯然地此單位電荷無論沿那條路徑，所得的結果均爲此值。如任意選參考點P_0，然後在計算（1）式中的功時，所採的路徑一定通過 P_0。令ϕ（a_1）爲由P_0至a點所需之功，$\phi(b)$爲由P_0至b點所需之功，如圖 16－93 所示。由於自a至P_0 所需之功爲$-\phi(a)$，故

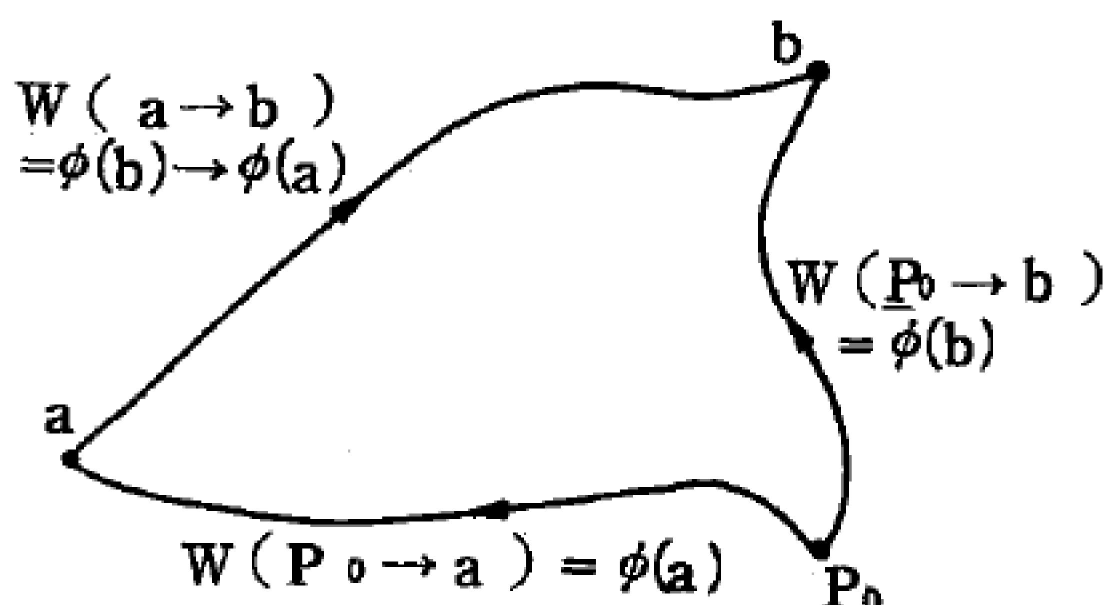


圖 16－93

將單位電荷由a點沿任意路徑移至b點所需之功等於P₀ 點至 a 點所需之功的負值加上P₀ 點至 b 點所需之功

$$-\int_a^b\vec{E}\cdot d\vec{s}=-\int_a^{P_0}\vec{E}\cdot d\vec{s}-\int_{P_0}^b\vec{E}\cdot d\vec{s}$$

$$=\phi(b)-\phi(a)$$

因爲這積分的值僅和$\phi(b)-\phi(a)$有關，故 P_0可以被任意地選定。但一旦 P_0 被標定後，那麼空間任意一點P都可以用ϕ（P）之數值來代表，我們將這純量函數叫作P點的靜電位。

$$\phi(P)=-\int_{P_0}^{P}\vec{E}\cdot d\vec{s}$$

爲了方便起見，我們將P_0 取在無窮遠。故從（2）式可知，對一位於原點處的電荷講，空間任一點的電位是

$$\phi(x,y,z)=\frac{q}{r}$$

根據重疊原理，對一群電荷而言，空間某一點的電位是

$$\phi(r_1)=\sum_i^n\frac{q_i}{r_{1i}}$$

r_{1i} 是那一點 $P(x_1, y_1, z_1)$ 與 q_i 間的距離。若電荷分佈可以用一電荷密度 ρ 來表示，如圖 16 — 94，則

$$\phi(1) = \int_2 \frac{\rho(2)\, dV_2}{r_{12}}$$

式中的 $\phi(1)$ 代表 $P(x_1, y_1, z_1)$ 的電位。$\rho(2)$ 代表電荷分佈處的電荷密度，dV_2 是電荷分佈處的一個體積單元，r_{12} 是 P 點至該體積單元的距離。積分的範圍是整個含有電荷的區域。

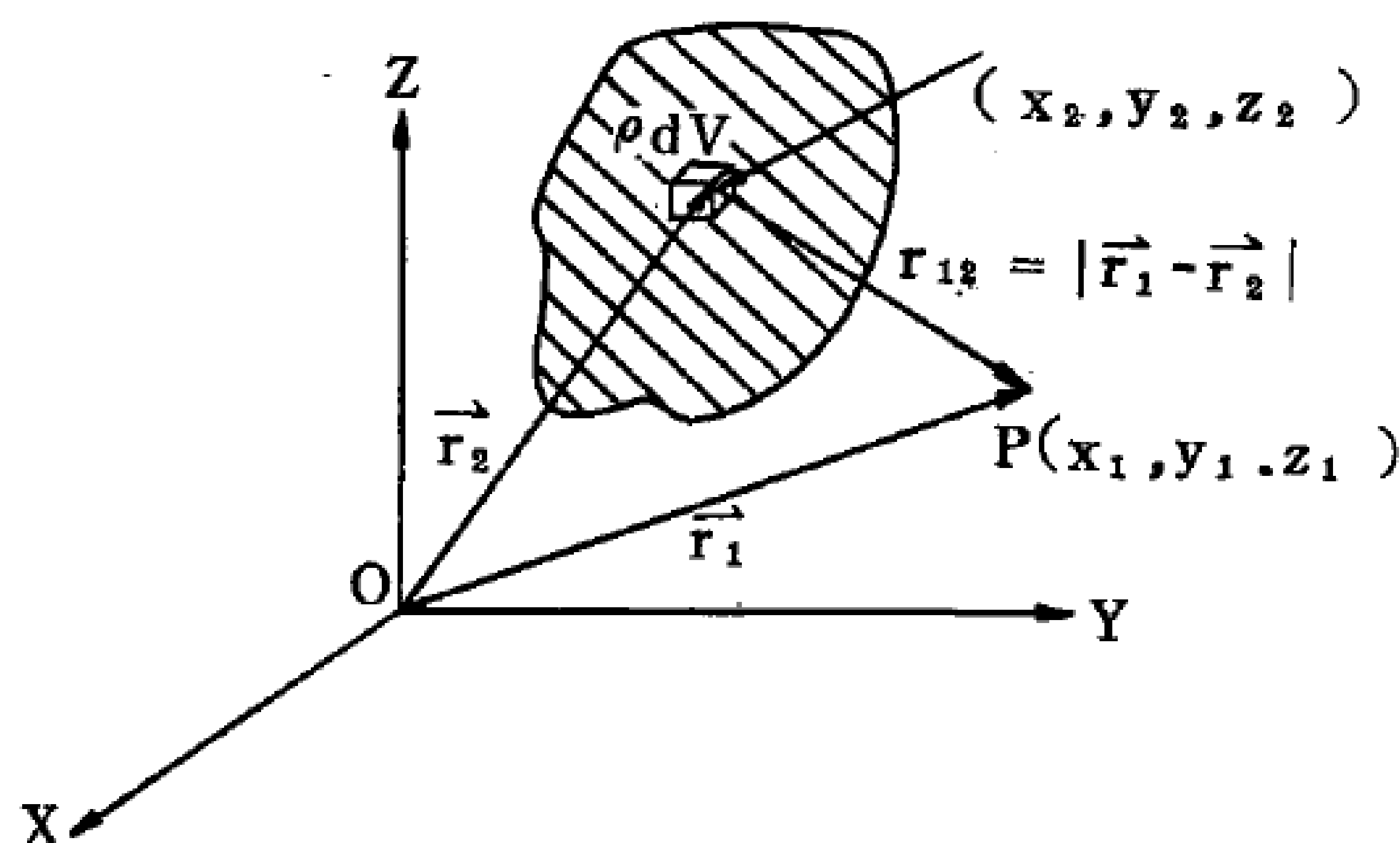


圖 16 — 94　電荷連續分佈時電位之計算法

【靜電制】(Electrostatic system)

以庫倫定律做根據所導出的一切單位。

【靜電計】(Electrometer)

具有刻度尺可作數值上測定的驗電器，稱為靜電計。係一帶有鋁箔的金屬棒，插於一前後壁為玻璃的金屬箱中，棒與箱經徹底絕緣。箔下為一標尺，可以讀出箔的偏轉，棒頂旋有一金屬杯（如圖16 — 95 所示）。

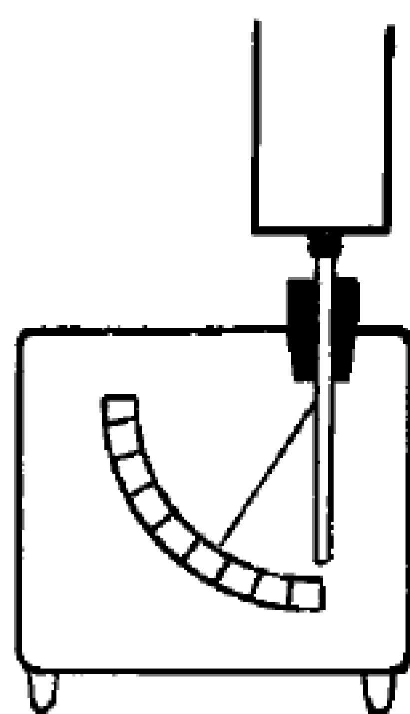


圖 16 — 95.

帶有金屬杯的靜電計

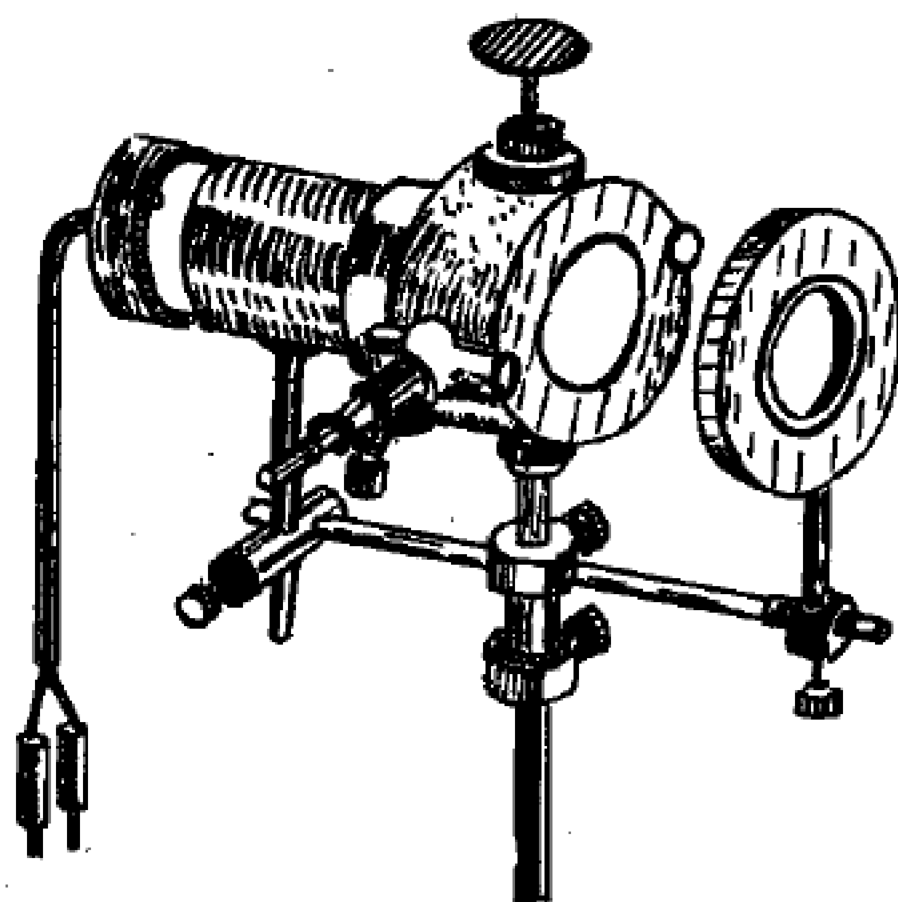
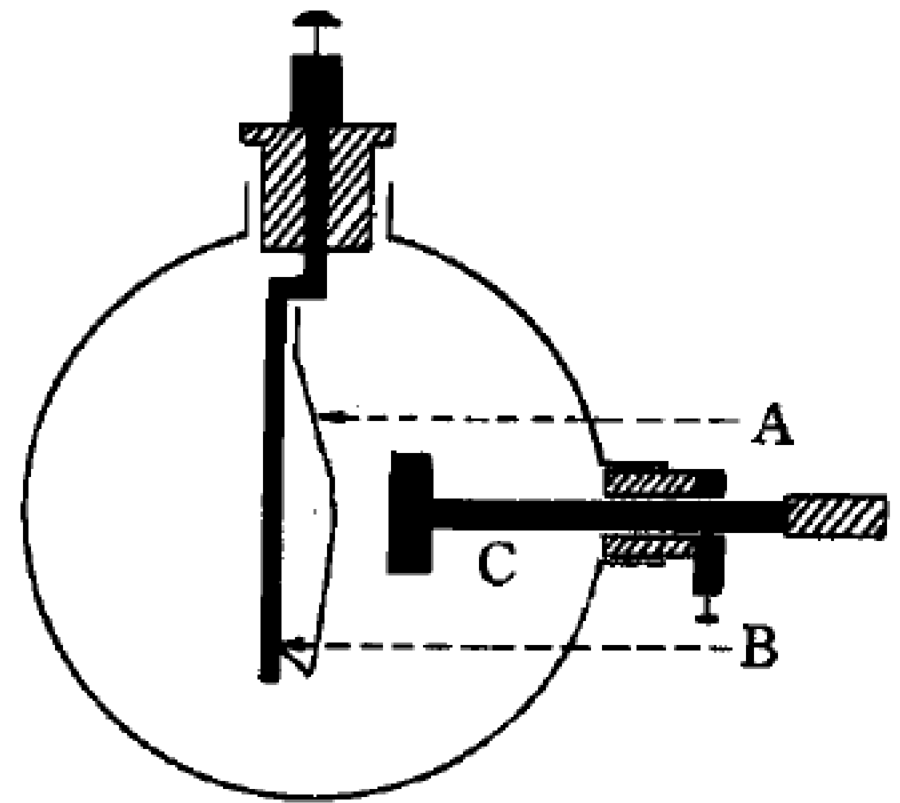


圖 16 — 96　驗電器

圖 16 — 96　所示爲一形式改良過的靜電計。在這種驗電器（*Electroscope*）中，有一狹長的鋁帶，其下端與一富有彈性的石英線連在一起，後者可使之回復至原來靜止時的位置。在鋁帶的旁邊，有一可移動而與金屬箱絕緣的金屬圓盤，可用以隨意調節儀器的靈敏度，爲使觀察格外明晰起見，這種驗電器又裝有一投影裝置。其內部裝置如圖 16 — 97 所示。



A　狹長的鋁帶
B　富有彈性的石英線
C　可移動的金屬圓盤

圖 16 — 97
驗電器內部裝置之圖示

【靜電特性曲線】（Static characteristic curve）

電子管未加入負荷時的特性。

【靜電起電機】（Electrostatic generator）

利用靜電感應的原理，來大量產生靜電的機械。有英人威木赫士特所發明的感應起電機，和范得格拉夫起電機兩種。

【靜電荷】（Static charge）

通常藉摩擦作用使物體帶電。分爲正電荷和負電荷。

【靜電偏向】（Electrostatic deflection）

電子束的偏向，分爲靜電偏向與磁場偏向兩種，在此討論靜電偏向。只要在兩平行的金屬板（稱爲偏向板）之間加一電壓，就可得一靜電場。在金屬板間的場電力線從帶低電位的板，以直線指向帶高電位的板，而板邊緣的場電力線是彎曲的（見圖 16 — 98）。當電子進入兩偏向板之空

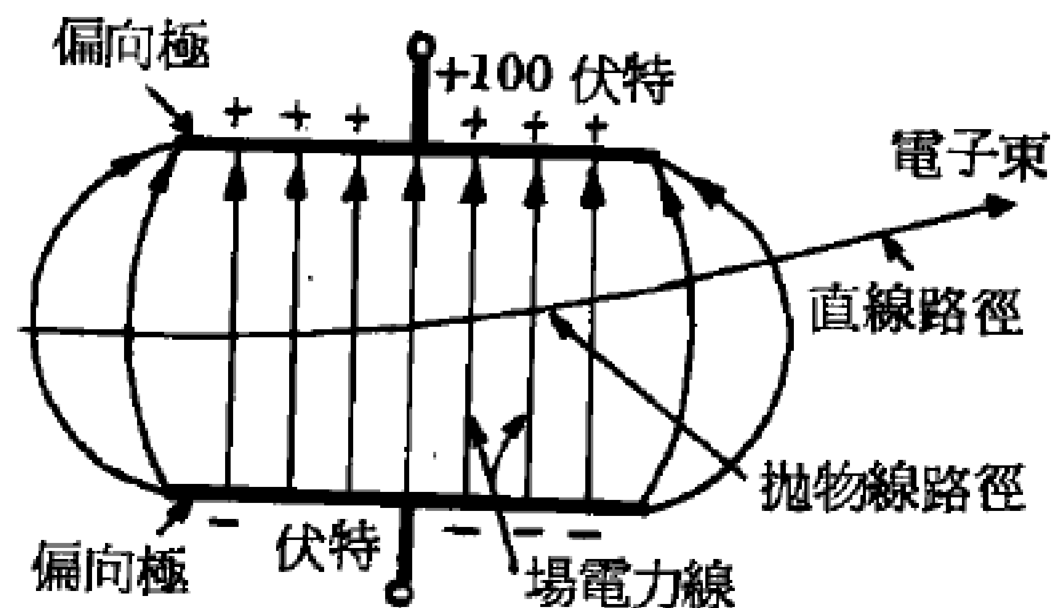


圖 16 — 98　電子束的靜電偏向

間，受電場的吸引，則向高電位金屬板移動，所以電子在板間的運動軌跡爲一拋物線。當電子離偏向板後，就以拋物線的切線方向，以直線繼續運動，因此在螢光屏上所得的光點，已不在中心點，而在中心點之正上方，距中心點之高度，與偏向極間電位差的大小成正比。如果偏向屏所加電位差的極性改變，則光點就在中心點的下方，也就是向下偏向。

如在電子束的路徑上有兩對偏向板存在，垂直偏向板（*vertical deflecting plates*）使電子束向上下垂直偏向，而水平偏向（*horizontal deflecting plates*）則使電子束向左右水平方向偏向。所謂垂直與水平是指電子束偏向的方向，並非指管內偏向板的位置。如果有一直流電壓加在垂直偏向板上，螢光屏上的光點不是在中心點的上方，就是在中心點的下方，此方向的決定，完全在於兩垂直偏向板的電壓極性。對水平偏向板加一直流電壓，當然可得左方或右方的偏向。

當有交流電壓加在垂直偏向板上後，在螢光屏上光點則隨交流電壓的頻率，上下移動。由於螢光材料及眼對光都具有暫留特性，光點上下的移動就變成一條連續的光亮的垂線（如交流電壓的頻率很低，光點的移動情形可看得很清楚）。如將交流電壓接於水平偏向板，在螢光屏上就可得水平連續光亮線。最後，如果將此交流電壓同時加在水平偏向板與垂直偏向板上，在螢光屏上就呈現出一個圓。如果是兩不同大小、不同頻率、不同相位及不同波形的交流電壓，同時加在垂直與水平偏向板時，就可得很多各種不同的曲線。這些所有的曲線都被稱爲利薩如圖形（*Lissajou's*

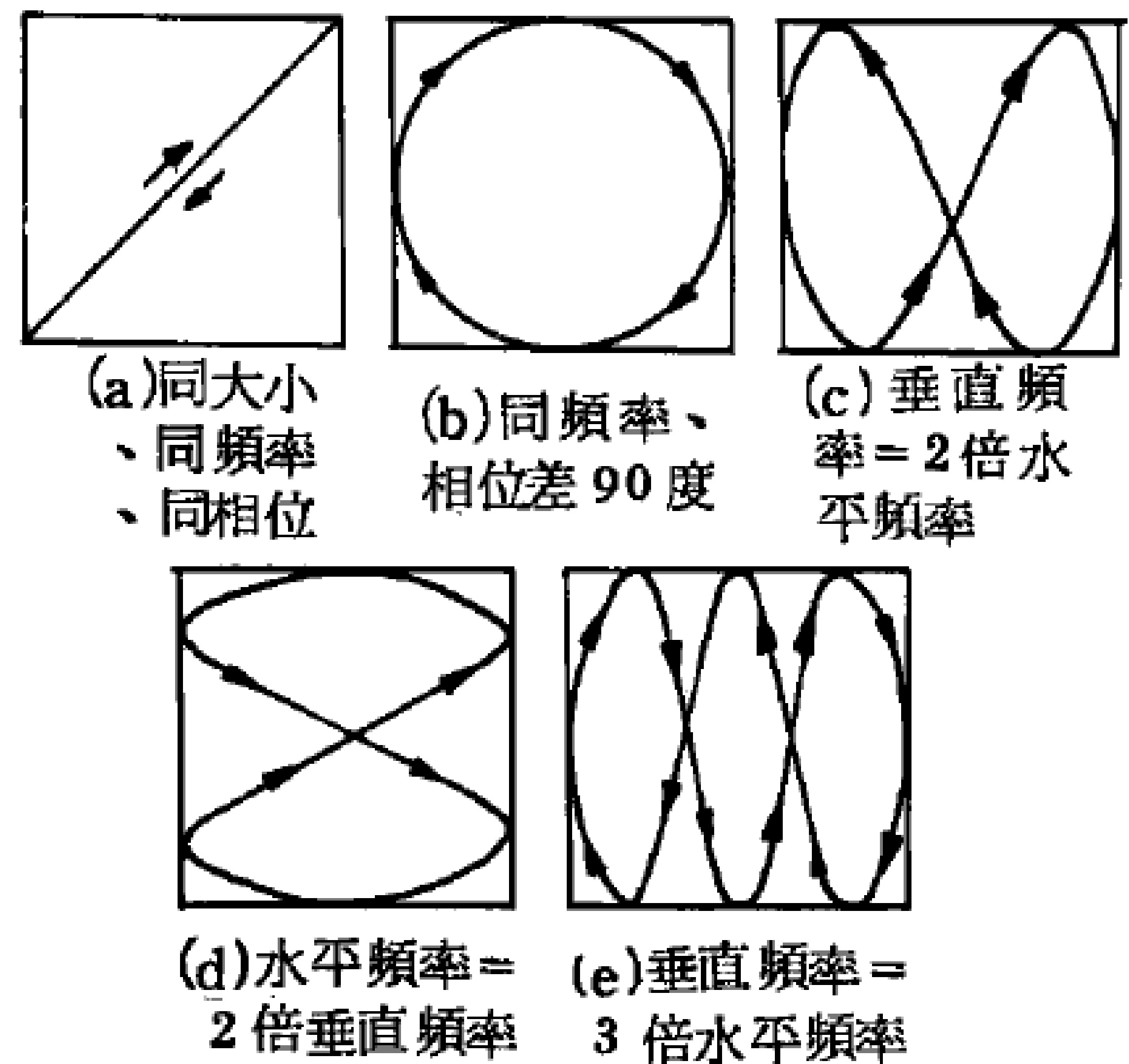


圖 16 — 99　利薩如圖形

figure）。如圖 16－99爲幾個代表性的曲線。

【靜電屏蔽】（Electrostatic screening）

設將電荷 q 放進金屬中，在 q 附近的電荷會因此而生變動，這些電荷密度的改變，幾乎完全抵銷由電荷 q 所生的電場，這謂之電荷 q 受其他電荷的屏蔽。在一定屏蔽長度以外，電荷 q 所生的電場幾乎完全被阻絕。或者由感應的關係，屏蔽物上發生與局外電場的電荷相反的電荷。局外電場的電力線便在屏蔽物上閉合起來。這樣就能保護某些導體不受局外電場的影響。

假設金屬內的電子爲費米自由電子氣體的狀態。如在金屬中 r 處有一微擾電位 $\psi(r)$，此處的電荷密度會變化，與原來的穩定狀態平均電荷密度有 $n(r)-n_0$ 之差。現在電子的最大動能爲

$$E_F + e\psi(r) = \frac{\hbar^2}{2m}\left[3\pi^2 n(r)\right]^{\frac{2}{3}} \qquad (1)$$

而

$$E_F = \frac{\hbar^2}{2m}(3\pi^2 n_0)^{\frac{2}{3}}$$

所以（1）式可寫爲

$$n(r) = n_0 + \frac{3}{2} n_0 \frac{e\psi(r)}{E_F}$$

由帕松方程式（*Poisson equation*）

$$\nabla^2\psi(r) = 4\pi e\left[n(r)-n_0\right]$$

可得

$$\nabla^2\psi = \lambda^2\psi$$

$$\lambda^2 \equiv \left(\frac{6\pi n_0 e^2}{E_F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

解上述微分方程式可得

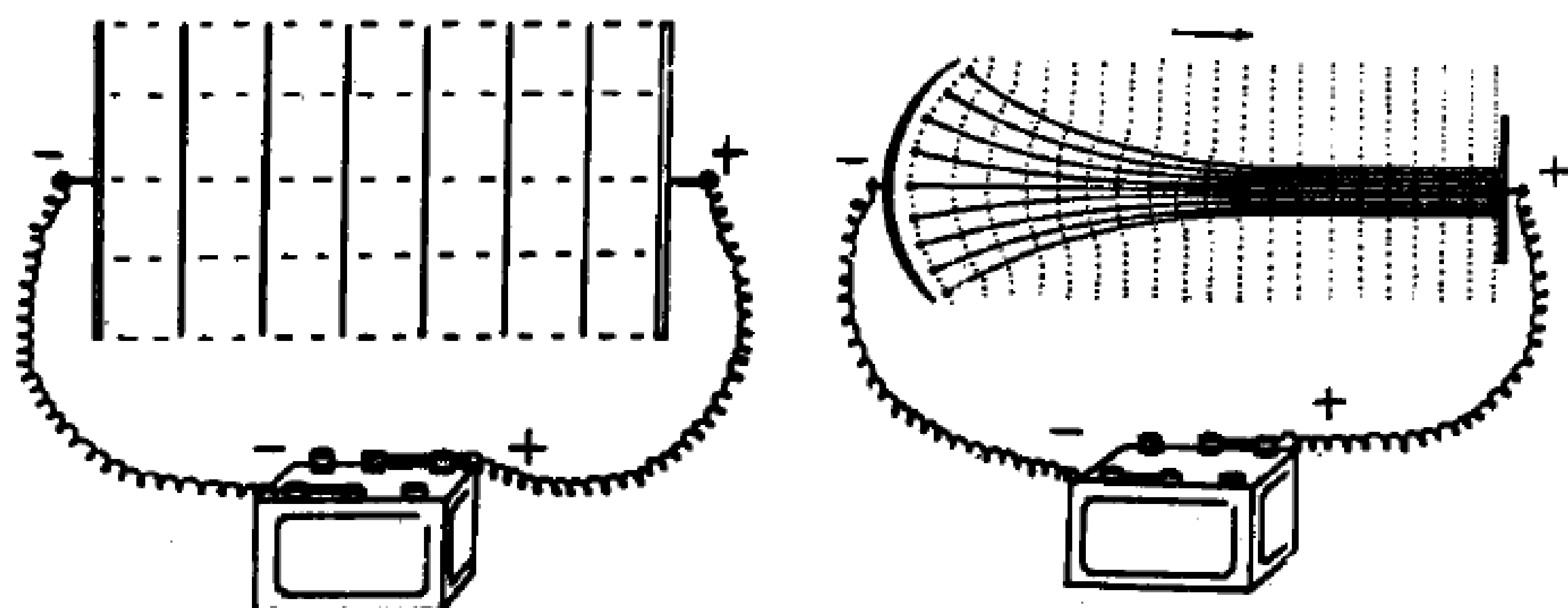
$$\psi(r) = \frac{e}{r} e^{-\lambda r}$$

故知超過 $1/\lambda$ 的長度（屏蔽長度）微擾電位急速減弱，這種現象稱爲

靜電屏蔽。

此現象與德拜、徐克屏蔽（*Debye-Hückel screening*）最大的不同，在於德拜、徐克屏蔽是以波茲曼（*Boltzmann*）分佈，而靜電屏蔽是以費米（*Fermi*）分佈討論。

【靜電透鏡】（Electrostatic lens）



(a)圖中虛線示靜電力線，在水平虛線中所繪的直線，爲分隔電場的等值電位線。

(b)圖中虛線示等值電位線。電子由陰極射向陽極時的路程成一不等值的電場，和金屬板間的等値電位線成直角。

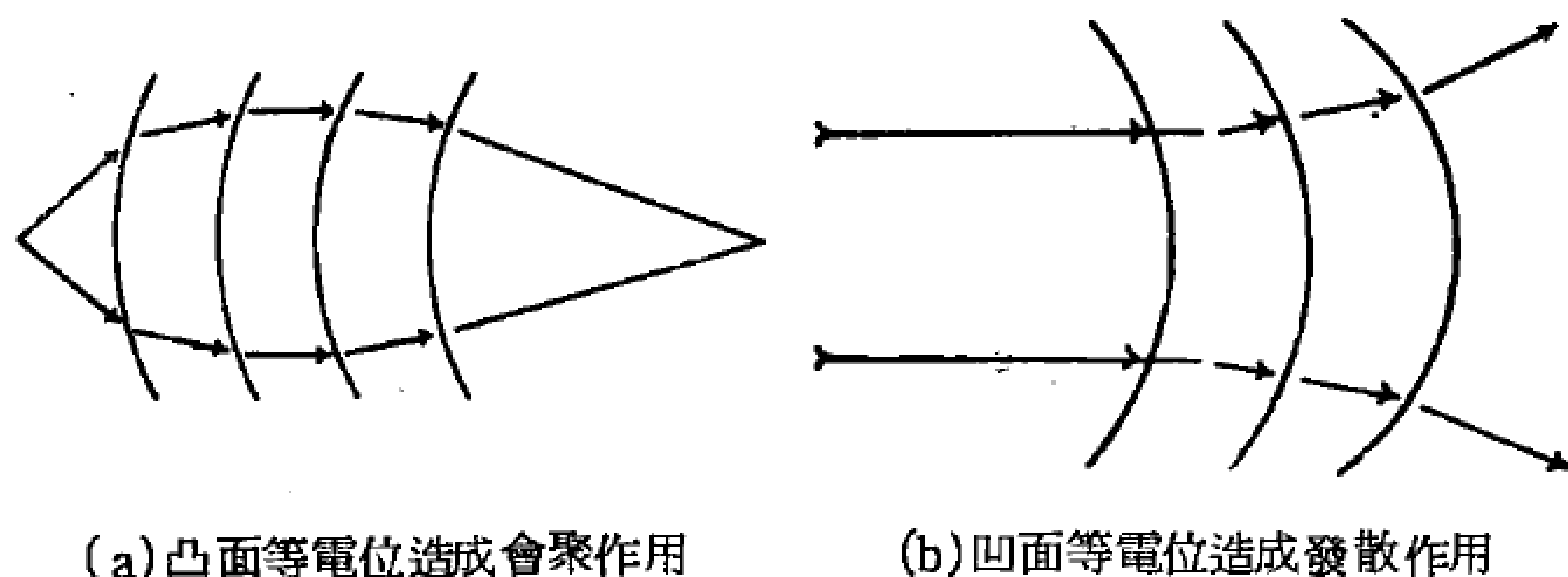
圖 16—100　靜電透鏡

電子顯微鏡所用磁透鏡之磁場孔口，有被汚染的缺點。而靜電透鏡的電子槍，則無受汚染的缺點。

簡單的說，兩片金屬板對置後，分別接到一電池的正負極上，便構成一靜電透鏡。兩金屬板上建立的電位差，使兩板間充電的質點被較高電位的一板所吸引。如果細心從事這一實驗，可以看到質點沿靜電場力線移動的瞬時狀態。靜電電場的力線是和金屬板成直角的，如圖 16 — 100 (*a*)所示。

若沿兩金屬板間的電力線，從一板至另一板，用直線作平均的分劃，如圖 16 — 100 (*a*)所示。這些直線即代表金屬板間靜電電場的等值線。每一等值線所在之點，代表在電場中這一點上所能產生之“功”（*work*）都相等，所以稱爲等位線（*equipotential lines*）。一個均勻的靜電電場，可以藉等位線來細分。在這樣分劃的電場中，一個帶電

質點的運動，即可用伏特（*volt*）來說明它的功，功是力和距離的乘積，即$W=FD$，它使電子在電場中由一點移動到另一點。



(a)凸面等電位造成會聚作用　　(b)凹面等電位造成發散作用

圖 16－101　電場的作用

電子在一個不均勻電場中的路程（*path*），可以用彎曲的電位線在等電位區劃分其電場。這情況如圖 16－100 (*b*)所示，係假定此靜電場，是由一凸面金屬板及一平面金屬板在不同的電位下所構成。電子運動從充電的金屬板表面被連續的折射，而產生了累積的偏向，其結果為電子束向中心軸線彎曲。這樣的電場作用，構成了會聚透鏡（*convergent lens*），如圖 16－101 (*a*)所示。反之，若電子束由凹面金屬板的等電位中運動，則其作用為發散透鏡（*divergent lens*），如圖16－101 (*b*)所示。會聚透鏡即光學上所稱之凸透鏡，發散透鏡即光學上所稱之凹透鏡。

【靜電場】（Electrostatic field）

由不動電荷所產生的電場。為了使得電荷靜止不動，則不應在它可能運動的地方對它施以作用力。但在導體內部，電荷能夠自由運動，故在導體內部有電場存在時，導體內就發生電荷的運動（電流）。因而電荷只有當其在導體內部各處所產生的電場都等於零，而在導體表面所產生的電場都垂直於表面（因為如果不是這樣，電荷便將沿表面而運動）時，方能靜止不動。為此，不動電荷應當分佈於導體的表面，也正因為如此，導體內部的電場才等於零，表面的電場才垂直於表面。上面都是

對不動電荷的情況而說的。在電荷運動的情況下，也就是在導體中有電流存在時，其中便應有電場存在（因為如果不是這樣，就不可能有電流流動），因而運動著的電荷是分佈在導體的內面；總而言之，其分佈情況不同於不動電荷，並且產生分佈圖形不同於靜電場的電場。但就其特性而論，靜電場與動電荷的電場並沒有任何相異的地方。封閉導線放置於靜電場，其電動勢為零，換言之，靜電場不能使封閉電路維持電流。

【靜電單位】（Electrostatic unit ；e．s．u．）

二個相同的帶電粒子，其距離為 1 厘米，作用力為 1 達因，則每個帶電粒子上的荷電量為一單位電荷。此電荷單位稱為靜電單位。一庫倫（*coulomb*）的電荷相當於 2.998×10^{9} 靜電單位。

在靜電單位之單位制中，各單位都冠有"靜"的字首，字尾則是實用單位的名稱。如靜伏特、靜厄司特等。

【靜電發電機】（Electrostatic generator）

一靜電發電機是用來產生幾百萬伏特電位差之工具。它在物理上最主要的功用是利用這一電位差使帶電粒子加速至很高的能量。當一帶正電的粒子（其電量為 q）在眞空內由一點移至另一點的電位降為 V 時，其所增加的動能應等於 qV。我們可利用這種高能量的質點束來撞擊原子核，以便研究原子核的性質及一些核子反應。圖 16－102 表示一靜電發電機的基本操作原理，此圖中半徑為 r 的小金屬球被放置於半徑為 R 的大金屬球殼內。兩球所帶的電荷分別為 q 及 Q。大球的電位一部分是由它本身所帶的電荷 Q 產生的，另一部分則由小球

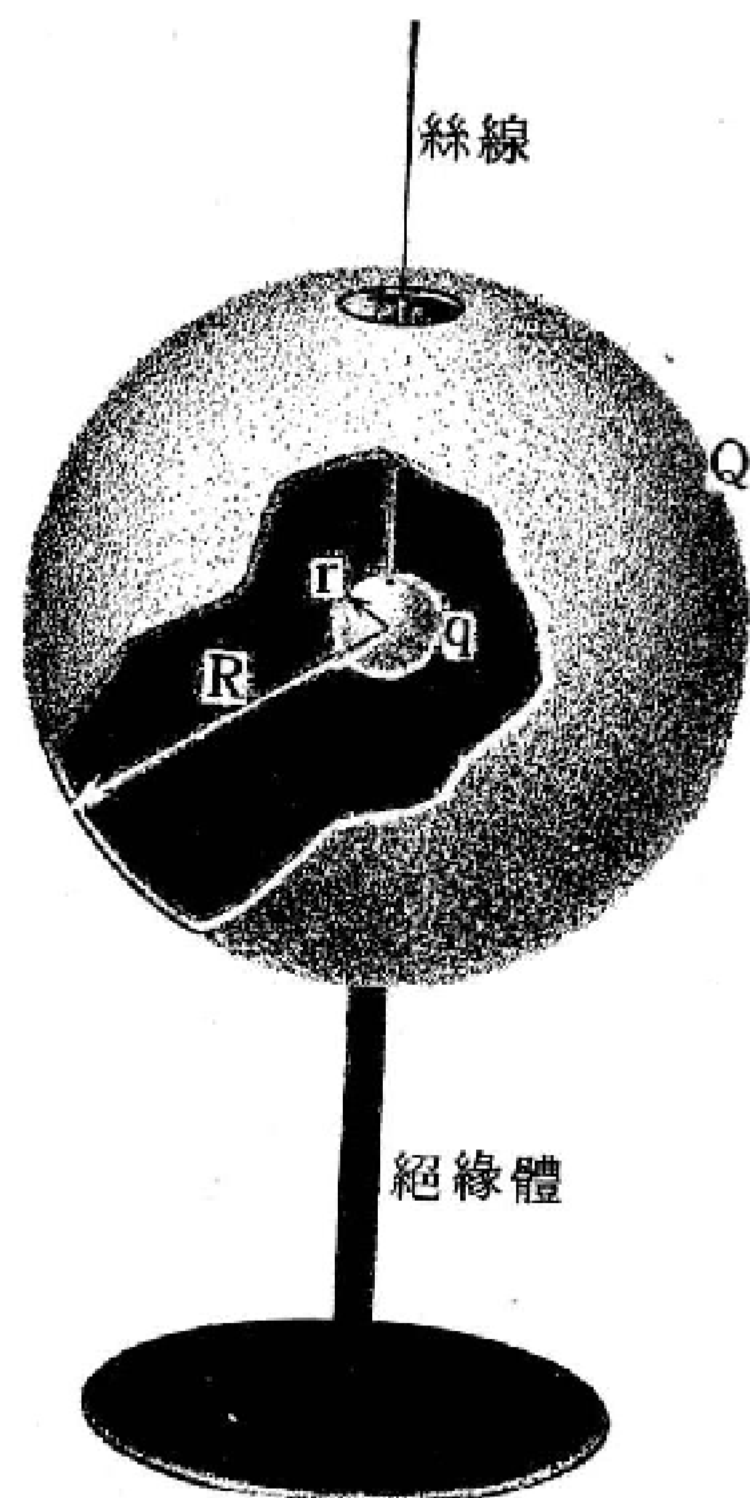


圖 16－102
一半徑為 r 的小金屬球懸掛在一半徑為 R 的帶電金屬球殼內

的電荷 q 在大球處所產生的，故大球的電位爲

$$\phi_R = \frac{Q}{R} + \frac{q}{R}$$

如果只有大球時，大球內每一點的電位都爲 $\frac{Q}{R}$（因爲電場爲零）。因此，將小球置於大球內時，其電位爲

$$\phi_r = \frac{Q}{R} + \frac{q}{r}$$

兩球之電位差爲

$$\phi_r - \phi_R = q\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R}\right)$$

因此，若 q 爲正，小球

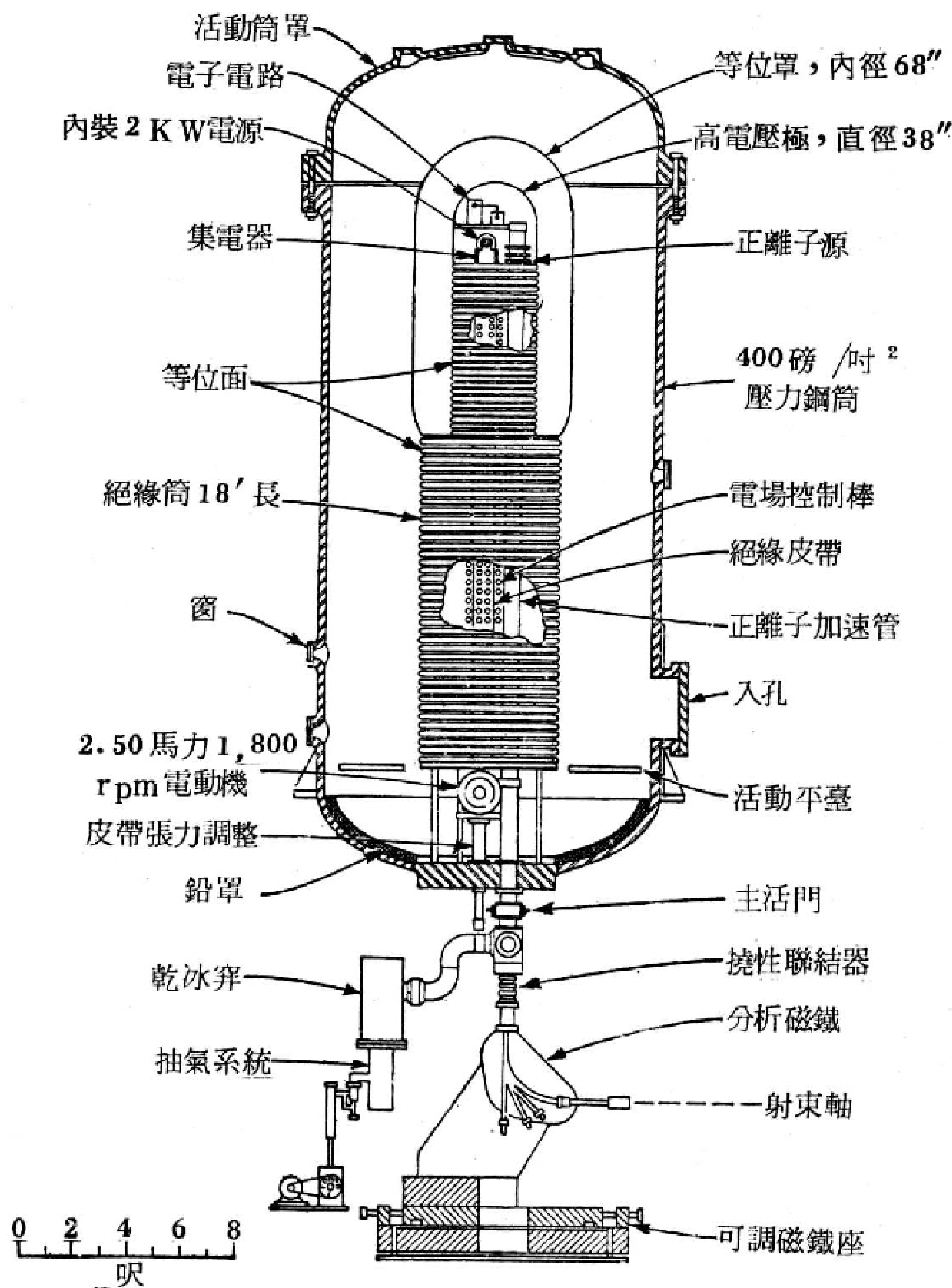


圖 16 — 103　范得格拉夫加速器

之電位永遠比外面的大球爲高。如果用一細導線將兩球連接在一起，則不論 Q 爲多少，小球上所帶的電荷 q 將全部流到外面的大球上。

在實際的靜電發電機裏，電荷是由一快速運轉的絕緣皮帶攜帶到金屬球殼內。在球殼外，我們利用一組連接在高電位的金屬尖端的尖端放

電現象將電荷噴在皮帶上。在金屬球殼內，皮帶上所帶的電荷也是利用一組尖端將它們移送到球殼。目前所能製的靜電發電機可產生高到一仟萬伏特的電位，即用單獨一個發電機可將一個質子加速至 10*MeV* 的動能。圖 16 — 103所示，為范得格拉夫加速器（*Van de Graaff accelerator*），這一加速器的靜電發電機可加速一個質子至 9*MeV*的能量。

【靜電揚聲器】（Electrostatic loudspeaker）

此型的揚聲器是由直流電壓加於一電容器上。在此一特殊的電容器中有二片電板。一片是固定的；另一片兼有振動板的作用。因為二電板之間原有吸引力存在，只有直流電壓加於其上時，吸引力沒有變動。當交流的電流加於其上時，吸引力即隨之增加或減少，發生振動，於是完成電能轉變為聲能的作用。通常這類特殊的揚聲器因阻抗特高，對於音頻的響應範圍也很狹，所以只供高音專用，除特殊需要外，很少為人們所採用。

【靜電畫像管】（Electrostatic picture tube）

陰極射線管的一種，電子射線偏向的產生是藉該管的頸部兩對偏向屏的電壓所產生之靜電場吸拒作用而完成。

【靜電感應】（Electrostatic induction）

一絕緣導體附近，由於另一帶電體的接近，受到該靜電場的影響，而生極化作用，使導體上正負電荷分離。而呈帶電的現象，稱為靜電感應。接近帶電體之一端所生的電荷與帶電體之電荷異號；另一端則與帶電體電荷之符號相同。由感應而生的兩種電的電量相等。金箔驗電器就是利用靜電感應的器具。

【靜電聚焦】（Electrostatic focusing）

陰極射線管利用靜電場將電子射線集中於焦點。

【靜電攝影術】（Electrophotography）

是一種相當獨特的半導體光導電性之用途，這種技術可以不使用化學處理方法而得到像片。若利用尖端放電現象，把從一個高壓金屬的尖端所放出的正電荷噴灑在沾有氧化鋅（ZnO）半導體薄膜的紙上，則因氧化鋅電阻甚高，而使電荷停留在表面的時間相當長。若有光影照射在這種紙上，則在較亮的區域氧化鋅的電阻減少，而會使電荷深入，但暗處的氧化鋅電阻仍高，而使電荷依然停留在表面。於是氧化鋅薄膜中的電荷就會因光影的情形而形成特殊的分佈。若加入某種黑色粉末，使它們聚集在電荷存在的地方，並加熱使其永遠停留在那些地方，即可得到像片。一般言之，較暗的區域，電荷密度較大，因此色澤較深。

這種攝影術不需化學藥液處理，同時也可不必保存於暗處，因爲直到將曝光前的片刻，將電荷噴到表面之後，它才會起光效應。

【靜態平衡】（Static equilibrium）

當一可自由運動的物體所受各力的合力及合力矩均爲零時，該物體就不會呈現加速現象，這種狀態稱爲靜態平衡，與達朗白原理（*D'Alembert's principle*）所涉及的平衡不同。

【靜態極化係數】（Static polarizability）

參閱“動態極化係數（*Dynamic polarizability*）”條。

【靜像管】（Monotron）

特種陰極射線管，能將管中簾幕上的照像產生電視畫頻者。

【靜鋒】（Static atmospheric current van）

冷氣團和暖氣團的勢力相當，互不侵犯而滯留不前，叫做靜鋒或滯留鋒（*stagnant atmospheric mass*）。靜鋒的北側（冷氣團）會變成久雨。如果沿著靜鋒陸續發生小低氣壓，就陰雨連綿，梅雨即如此發生的。

【靜磁場】（Magnetostatic field）

參閱“安培定律（*Ampere's law*）”條。

【靜質量】(Rest mass ; Proper mass)

靜質量係指物質與觀測者之相對速度爲零時，所具有之質量。也就是牛頓力學中的質量。

質量在運算上的定義，是與每一個質點或物體有關的一個數值，而這個數值是由用等臂天平原理比較物體與一個標準物體（砝碼）而獲得；因此質量是用以區別一個質點與其他質點的一個係數。

對質量在運算上的定義所提供的數值是假定物體在靜止狀態，然而我們無法從定義知道，當質點在運動狀態時其質量是否還是相同；因此爲明白一點，我們採用靜質量這一名詞。並假定與運動狀態無關之質量簡單地叫做質量，只要當質點之速度甚小於光速時，我們的假定是一個很好的近似值。

參閱“相對論質量（*Relativistic mass*）”條。

【靜調節】(Quiet tuning)

除正確調諧接收某一輸入載波外，其他任何時間接收機保持安靜。

【靜摩擦】(Static friction)

靜止的物體，受與接觸面平行之拉力作用後，在其作用方向仍保靜止時之阻力，稱爲靜摩擦。靜摩擦與施於物體上而不足使動時，平行於接觸面的拉力，大小相等方向相反。由靜而動所需之最小拉力，稱爲最大靜摩擦（*maximum friction*）。

【靜摩擦力】(Static frictional force)

作用於兩相對靜止表面間之摩擦力稱爲靜摩擦力。最大靜摩擦力等於最小起動之力。

任何二未經潤滑之乾燥表面間的最大靜摩擦力，遵守下列二定律：(1)在甚大之限度內，摩擦力大致與接觸面積無關。(2)摩擦力與正向力成正比。正向力常稱爲載荷力，爲兩物體沿垂直接觸面的方向相互作用之力。摩擦力起於接觸物體之彈性變形，此等物體實非完全剛體。以水平

桌上靜止或滑動之木塊而言，正向力之大小等於木塊的重量。因木塊在垂直方向無加速度，桌面必向上施力於木塊，力之大小等於地球下拉木塊之力，即等於木塊重量。

【靜摩擦係數】(Coefficient of static friction)

詳閱"動摩擦係數(*Coefficient of kinetic friction*)"條。

【頭戴式耳機】(Head phone)

具有特製輔助裝置(弓形環)的聽筒，輔助裝置可將聽筒夾持在耳朵上。頭戴式耳機有兩種型式：一爲用於一隻耳朵的(單筒式)；另一爲用於兩隻耳朵的(雙筒式)。

【鞘】(Sheath)

鞘是由離子體與其邊界交互作用而產生，位於離子體與其周圍之牆、電極或其它離子體之間的邊界層。其目的在調整電子和離子流，以使淨電流等於邊界所需要之量。這是種自行調整的現象，因爲帶電粒子流建立空間電荷場，此場又反過來與電流作用以使電流達到適當之值。下列數種鞘是由於不同的邊界條件所產生：

1. 單鞘(*single sheath*)——當電子和離子沿同方向橫過鞘層流動時產生單鞘，因爲空間電荷只有一種符號，不是正就是負，所以稱爲單鞘，電荷的大小與淨電流有關。

2. 雙鞘(*double sheath*)——當電子與離子在相反方向橫過鞘層流動時產生雙鞘，此時鞘層一邊爲正電荷另一邊爲負電荷。例如在熱陰極前面即產生雙鞘，陰極一面放出電子到離子體中，同時又從離子體中收集離子。

3. 磁流鞘(*magnetic current sheath*)——置於磁場中的離子體表面所產生的鞘稱爲磁流鞘，此時空間電荷或爲正或負，且有淨電流沿鞘的表面流動且垂直於磁場。

【頻閃投影】(Frequency flash projection)

在投影裝置的投影透鏡或光源附近裝光閘，則能以高速度斷續光線。光閘則把有孔圓板裝在小型馬達軸，轉動就可以。利用模型用的直流電磁鐵馬達，可廣範的改變速度而很方便。圓板則利用紙板或薄鋁板鑽扇形的孔製成。光源小時或需明亮的像並不講求其鮮明度時，則把孔弄大些。相反者，則開小孔。孔大小爲全面積的 1／3 ～ 1／20 爲限度。以同心圓形開 1 個、2 個、4 個等孔，較便於應用。圖 16 － 104 爲使用於 150 *W* 映寫燈泡做頻閃投影用光閘的一例。又把熱容量小的小形燈泡放電管，利用交流電點滅，則可得交流電頻率的兩倍頻率點滅的頻閃光源。

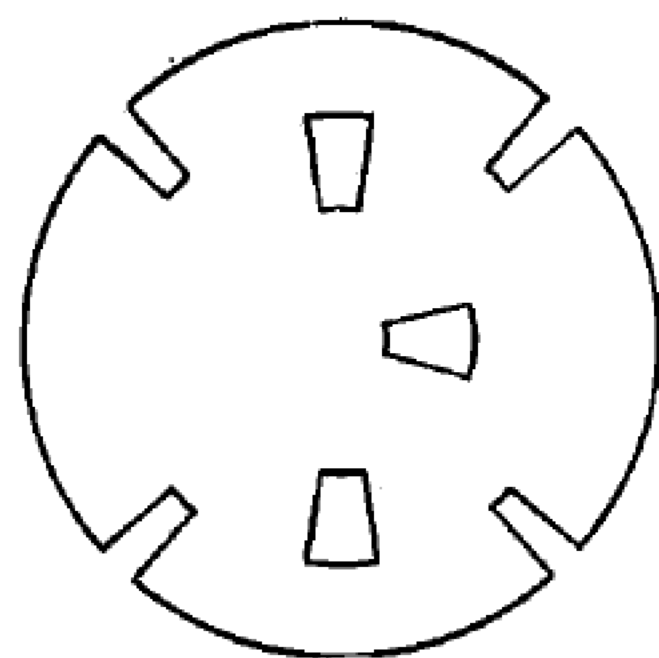


圖 16 — 104

【頻帶】(Frequency band)

是在某一狹窄範圍內的頻率。許多聲音同時發送的技術，是需要在足夠的頻帶寬裏作有效的傳送，通常 0 ～ 4,000 赫兹的寬度已顯不夠，而必須增到 0 ～ 15,000 赫兹以便能傳送音樂。爲了要達到增寬頻帶的目的，傳送系統的工作頻率就不得不提高。在這情形下，線路上電磁波的強度便會因轉變成熱而減少。頻率越高，強度越少。通信工程師爲了能使導線上一次可載許多電話，並且又能增寬有用的頻帶寬度，而不得不經常和高頻損耗奮鬪。

在貝爾系統 (*Bell system*) 裏，從載波系統 (架定線) 開始，經過電纜載波系統、同軸系統、改進後的同軸系統和改進後的微波繼電器，以及理論上可行的方法，包括 2 吋螺旋式導波管和雷射。無非是要實現增寬頻帶以傳送多組聲音而且使高頻損耗減至最少的願望。爲了獲得更大的頻帶寬，傳送的技術便漸漸地進入了沒有導線的空間，駕御著無線電波柱去爲人類服務。

【頻率】(Frequency)

一般而言，頻率係指單位時間內週期性過程之重複、循環或振動次數。頻率的 *M．K．S．*制單位是每秒週數（*cycle per second*）或赫茲（*hertz*）。諧和運動的週期T是完成運動一週所需之時間，一週即是一完全振盪或一循環。運動的頻率f是單位時間內之振盪或循環次數，故頻率是週期的倒數，即

$$f = 1/T$$

正弦形式的週期過程，頻率常以每秒若干弧度表示，稱爲角頻率或弧度頻率。其數值爲每秒若干週的頻率乘以2π。

在電學上，頻率爲交流電每秒之運動週數。在聲學上，頻率爲發音體每秒間振動的次數，或在有聲場合內聲波每秒通過任何一點之波數。光或其他電磁輻射表示頻率之方法，大致與上述相同，但因數量巨大（黃光爲五百個百萬乘百萬），故常以波長或波數表之。其單位如c/s、Kc/s、Mc/s。式中c爲週，s爲秒，Kc爲仟週；Mc爲兆週（在交流電學上之表示亦同）。頻率與波長之關係如下：

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

$$f = \frac{V}{\lambda}$$

式中f爲電波之頻率，λ爲電波波長，V爲波速度，故若預知波長，則頻率立可算出，即

$$f = \frac{3 \times 10^8}{\lambda} \quad (c/s)$$

$$或\ f = \frac{3 \times 10^5}{\lambda} \quad (Kc/s)$$

【頻率三倍器】（Frequency three-fold multiplier）

頻率三倍器亦稱三倍器，它的輸出頻率係三倍於輸入頻率。電路外表型式和倍頻器或通常的放大器相同，僅是將屏極電路調諧至輸入頻率

的三次諧波。

由陰極至屏極的脈衝電流，每一週信號，產生一次脈衝。每隔輸出電壓的三週，這些脈衝到達調諧電路一次。將足夠能量供給調諧電路使振盪得以持續。

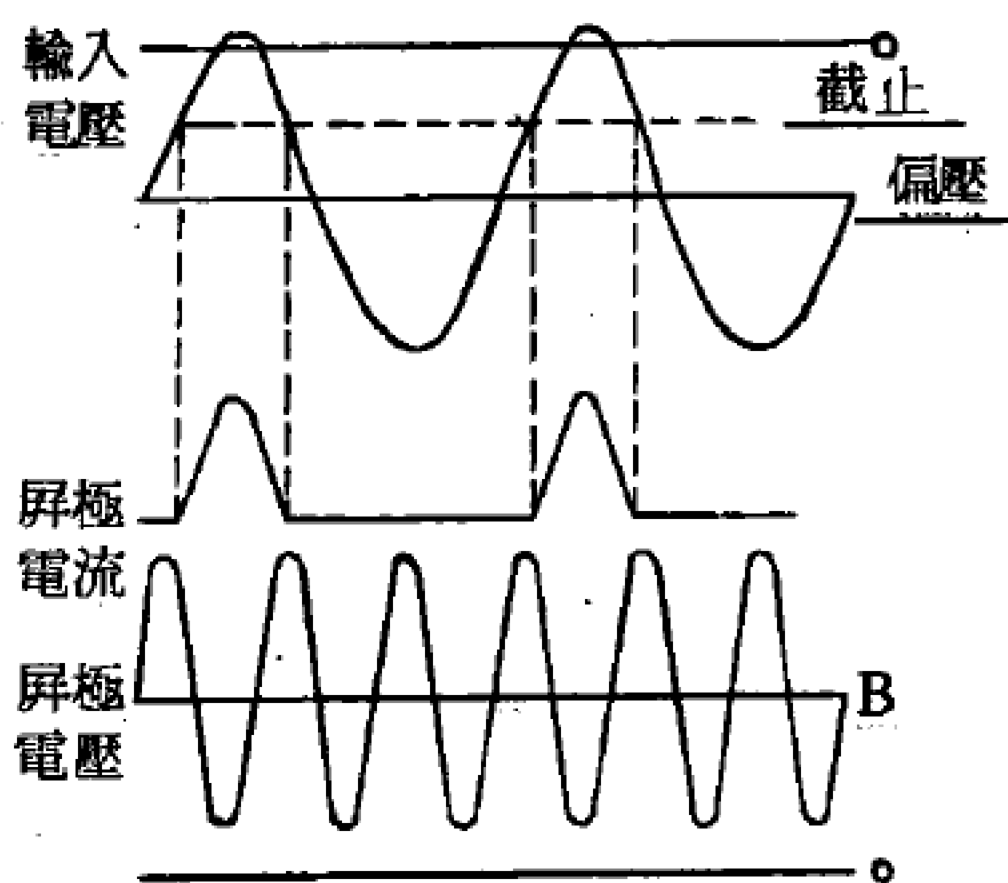


圖 16 — 105　典型三倍器中的波形

三倍器的調諧方法和指示現象完全和調諧倍頻器或基本頻率放大相同。當電路調諧至三次諧波時，調諧電路上的電壓較電路失調時爲大，耦合至次一級柵極的電壓亦較大，因此柵極電流亦較大。又在正確調諧電路上的較大電流，在眞空管導電時可使屏極電壓降低。所以調諧屏極電路，無論是對輸入頻率、二次諧波或三次諧波。可用屏極電流表的下降或次級柵極電流表的上升來指示。

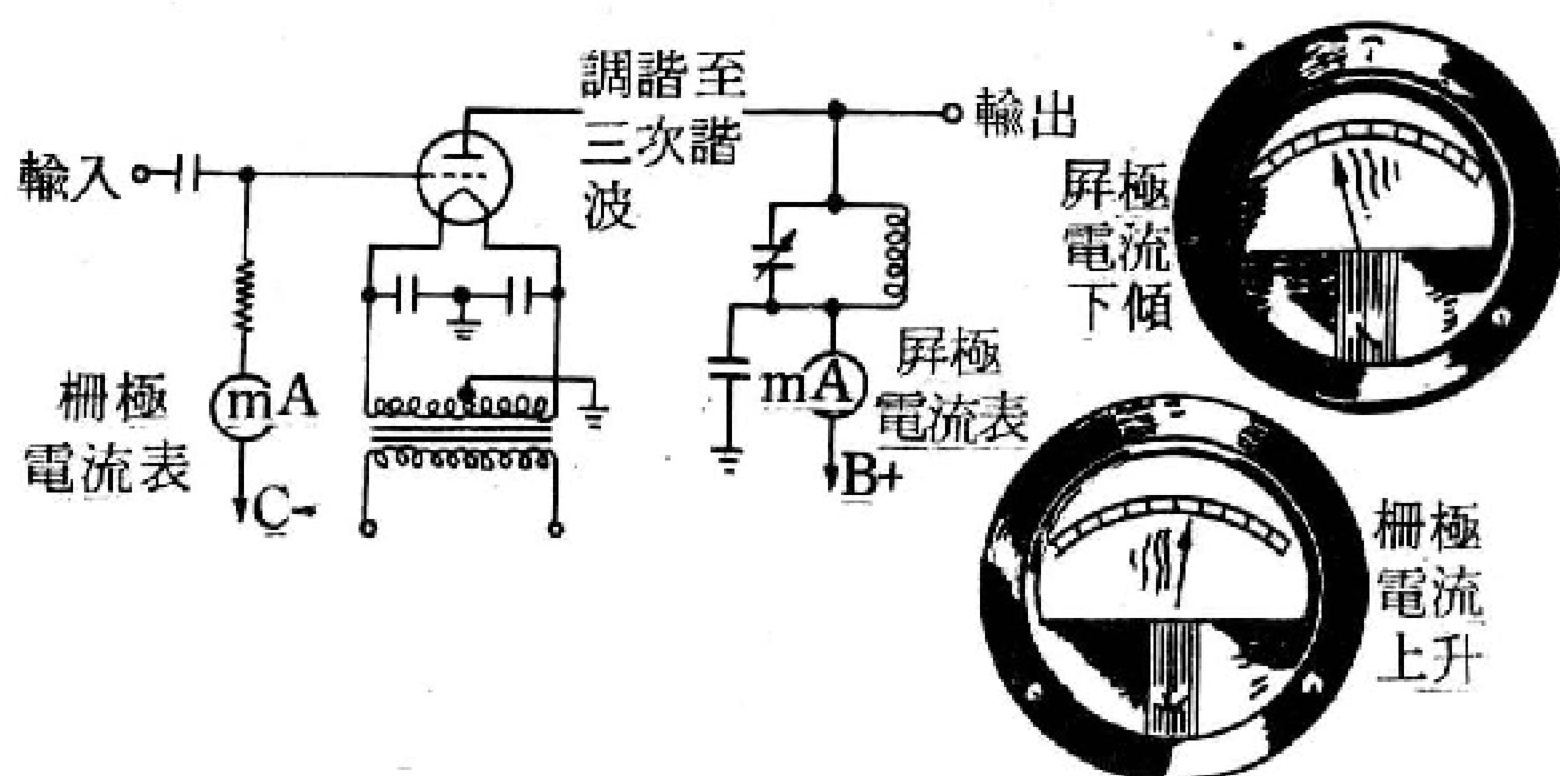


圖 16 — 106　頻率三倍器電路

【頻率失眞】(Frequency distortion)

這是重發聲音的機器對各種不同頻率重發不均勻而引起的聲音失眞。爲了正確地重發聲音，聲音中所包含的全部振動的幅度比例在傳送時應保持不變。如果機器對不同頻率的振盪有不同的傳送，卽頻率響應曲線上有凸起或阻塞，則各振盪的幅度比例便破壞了，這就會使聲音發生失眞，此種失眞就叫做頻率失眞。頻率失眞是由於放大器的頻帶寬不夠大所引起的，它會使聲音性質發生變化。頻率失眞主要是發生在低頻放

大器內（如果它對聲頻帶內的低頻與高頻的放大不同）與揚聲器內（如果它對這些高低頻率的重發不同）。頻率失眞有時還可能發生在高頻或中頻放大器內（如果該放大器的通頻帶窄於正確重發聲音所需要的頻帶）。

【頻率平頂響應】（Flat frequency response）

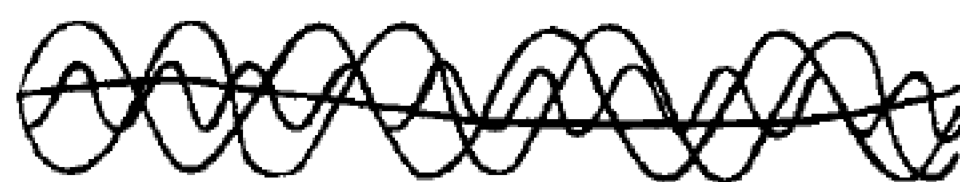
在放大電路中，在某一頻段範圍內各頻率放大量均等者，通常以橫軸代表頻率，直軸代表輸出電壓，繪成之響應曲線在某一範圍內屬平頂者，稱爲頻率平頂響應。

【頻率同調性】（Frequency coherence）

無線電波具有單頻率的能力，稱之爲頻率同調性（頻率相干性），或者是時間同調性。（時間相干性）。圖 16 — 107 (*a*)表示一個單一正弦波，是表示正弦波最常用的方法，也是頻率同調放射線的一個特例。圖16—107 (*b*) 是頻率不同調放射線，嘈雜的噪音，其波形就像這樣。



(a)頻率同調放射線



(b)頻率不同調放射線

圖 16 — 107

【頻率指示器】（Frequency indicator）

爲示頻工具之一，有等藉頻率對電流效率而製成，又有利用機械諧振而製成者。

【頻率倍增器】（Frequency multiplier）

卽倍頻器。當放大器或振盪器所產生的波形含有非線性失眞時，該電波除有基本波外，尙有豐富的諧波，利用調諧電路可以選擇得高倍波。其主要電路如圖 16 — 108 所示。

在發射機中，放大級的屛極調諧電路只能調諧至柵極信號頻率。例如柵極信號頻率是 1 兆赫，屛極電路亦調諧至 1 兆赫。如柵極信號是一

種純粹的正弦波，則屏極電路僅能調諧至這正弦波的頻率（叫做基本頻率）而不能調諧至其他頻率。

在事實上，產生的頻率很少是純粹正弦波，它們常包含基本頻率的諧波。特別在用C類放大器的發射機中，這種情況更易發生，在產生的信號中常含有許多諧波。例如主控振盪器（C類工作）產生1兆赫正弦波，這正弦波富有諧波，它不僅包含基本頻率1兆赫，且有二次諧波（2兆赫）、三次諧波（3兆赫）等。

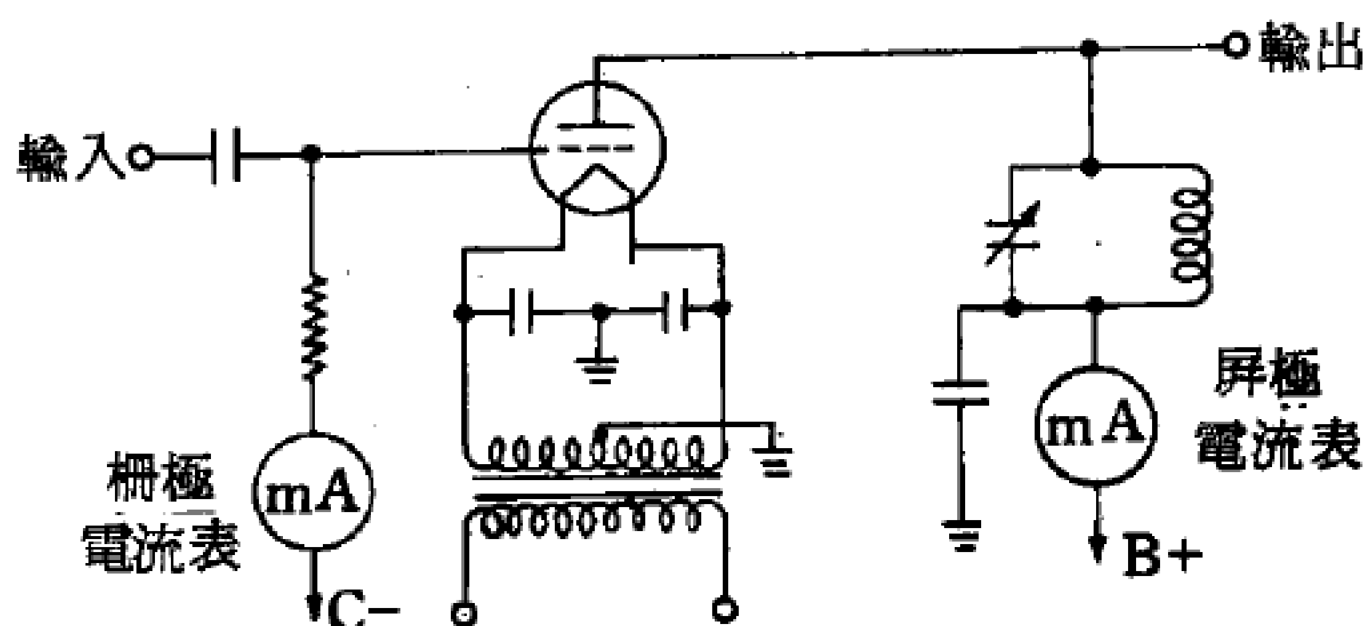


圖16—108 頻率倍增器

所以一個富有諧波的信號作用在調諧放大器的柵極上，其屏極可調諧至柵極信號中的任一諧波。這種將柵極上的輸入頻率，用調諧方法，使屏極電路中轉變爲較高次的諧波，叫做頻率倍增（*frequency multiplication*）。例如振盪器的輸出是1,000仟赫， 緩衝放大器的輸出爲2,000仟赫（二次諧波），再次級放大器4,000 仟赫（四次諧波）等。

在發射機中使用頻率倍增器的理由，是因爲振盪器在低頻率工作較爲滿意，所以如需要一高頻率，先將振盪器在低頻率工作，然後利用倍頻電路使振盪器的頻率升高至所需頻率。

用晶體振盪器可使高頻的頻率穩定，惟製造在高頻率振動的晶體相當困難，所以晶體振盪器常工作在較低頻率，再用頻率倍增方法以得所需的輸出頻率。

因爲發射機的功率輸出，完全決定於末級功率放大器輸出的大小，所以末級功率放大器都不作頻率倍增器用。所有振盪器頻率的倍增電路

都由中間功率放大器來擔任。

【頻率偏差】(Frequency deviation)

在調頻中，發射頻率由中間值向兩側的變動。

【頻率選擇】(Frequency selection)

將各種不同振盪頻率的信號劃分開來。無線電工程中應用最廣的頻率選擇法，就是利用振盪廻路將需要的信號分離出來。這個頻率選擇法是全部無線電接收技術的基礎。頻率選擇的特殊情況爲將作用不同的信號劃分開來，應用於電視同步中。

【頻率應度】(Frequency response)

以相同的電壓而不同的頻率輸入某一電路後，其輸出電壓的情況。

【頻率振盪限】(Frequency swing)

調頻波瞬時頻率的最高與最低的峯差。

【頻率穩定】(Frequency stabilization)

使振盪器所產生的振盪頻率保持穩定不變。電子管振盪器的頻率既隨著振盪器廻路的參量而變化，而且也與電子管的工作狀態有關。如果廻路的某個參量(例如電容器的電容)或電子管的工作狀態有所變化(例如電子管屏壓降低)，則所生振盪的頻率亦將在不同程度上發生變化。廻路參量及電子管狀態總是不可避免地要發生一些不大的變化。例如廻路參量能因溫度變化、機械振動等而發生變化，電子管狀態能因電源網絡電壓的變化而變化，由此可知，如果不採取專門的措施，則任何一種發射機所發出的頻率都將不是嚴格地穩定，而是在相當大的範圍內不斷變化。對於發射機的工作，通常又要求其頻率穩定不變。所以在現代的發射機內，便採用了專門的措施以盡可能地消除振盪頻率的變化。所有這些措施就叫做發射機的頻率穩定。現代發射機內應用最廣的頻率穩定方法就是利用壓電石英。

【頻率穩定度】(Frequency stability)

指振盪器在工作時，或變動狀態中能維持一固定頻率的可能性。

【頻路自旋】(Channel spin)

乃參與原子核反應前後的自旋分別爲靶核自旋和入射粒子自旋的向量和，及剩餘原子核自旋和射出粒子自旋的向量和。前者稱之爲進頻路自旋 (*entrance channel spin*) ；後者稱之爲出頻路自旋 (*exit channel spin*) ，統稱爲頻路自旋。

例如原子核反應



$$^{7}Li + p \rightarrow {}^{8}Be$$

^{7}Li核具有自旋與宇稱性爲$\frac{3^-}{2}$，質子內稟自旋 (*intrinsic spin*)與宇稱性爲$\frac{1^+}{2}$；如質子與 ^{7}Li 核的相對角動量爲 l ，則頻路自旋爲 $\frac{3}{2}$、$\frac{1}{2}$及 l 三者之向量和。如 $l = 0$ ，則頻路自旋與宇稱性= 1^-, 2^-；如 $l = 1$ ，則頻路自旋與宇稱性= 0^+, 1^+, 2^+, 3^+。

【頻譜】(Frequency spectrum)

這是包含於某振盪中全部正弦成分頻率的總和。頻譜組成決定於該非正弦振盪的性質。最簡單的是幅度按正弦律而變化的振盪的頻譜。這種振盪的頻譜除了含有載頻外，還包括兩個邊頻。在調制律比較複雜（非正弦律）或調制型式比較複雜，例如是調頻而不是調幅時，頻譜就包含有許多頻率。但如果調制還具有週期性質，則已調波的頻譜便由彼此相差一個調制頻率的各個單獨頻率所組成。其中的每個頻率有時稱爲“頻譜線”，而整個頻譜則叫做線狀譜或不連續譜。在非週期調制律的情形下，例如在單個（不重複）高頻脈衝的情形下，脈衝頻譜就含有無限多的頻率，各頻率彼此無限接近（這種單個脈衝可以看作是頻率爲零的週期調制，所以頻譜中各個頻率之間的距離也就等於零）。後面這種情形中的頻譜叫做連續頻譜。

【頸縮】(Neck)

參閱“塑性形變 (*Plastic deformation*) ”條。

【餘弦角】(Cosine angle)

交流電路內電流和電壓間的相移角的餘弦。此值有著十分重要的作用，因爲交流電路內所耗用功率的大小是隨它而變化的。此功率 P 等於有效電壓 V 與有效電流 I 的乘積（即所謂電路中的伏安數）再乘上餘弦角，即：

$$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$$。

【餘流】(After flow)

當外加應力除去後流體的流動持續能力。

【餘熱】(After heat)

反應器內分裂停止後，放射性原子繼續衰變所產生的熱。大部分的餘熱是由分裂產物的放射衰變來的。

【餘輝】(After glow)

陰極射線管的螢光屛在電子束停止作用以後的某些時間內還能繼續發光的本領。餘輝能增大影像的亮度，在電視中起著很大的作用。不過餘輝的持續時間不能大於一幀的發送時間，否則影像的像素就會模糊起來。

【駱煦界限】(F.Rocke bound)

參閱“土星（ *Saturn* ）”條。

【鮑威爾】(Cecil Frank Powell 1903-)

英國著名之物理學家，1903 年十二月五日生於頓布立治（*Tonbridge*），畢業於劍橋大學。1928 年起在布里斯托（*Bristol*）大學任教。鮑威爾發明用照相乳膠以記錄基本粒子的徑跡，並用以探測宇宙射線，於 1947 年由宇宙射線中發現 π 介子，即湯川秀樹所預測的基本粒子。1950 年獲諾貝爾物理學獎。

【龍捲風】(Twister)

龍捲風是溫帶和熱帶地方最常見的一種天氣現象。它是因高空中強

烈的氣流不斷地翻騰旋轉造成一股力量強大的氣柱，在氣象學上又叫熱帶氣旋。它的最大特徵，是空中一大片積雨雲裏，突然低垂一條象鼻形的漏斗雲，同時產生劇烈的旋轉著的旋風。

龍捲風的高度在一千公尺左右，直徑在一、二百公尺間，它的速度極大，超過十二級大風數倍，可以達到每小時四百五十公里的風速，龍捲風移動的方向，是一條直線，移動速度，每小時四十公里左右。

龍捲風的上半部與下半部的風速不同，移動速度也不同，所以常現出漏斗雲上部前傾的狀態。由於這種傾斜狀態，就可以知道龍捲風前進的方向。

龍捲風的風速既然這樣高，因此當它經過時所引起的損害就很大了。常常摧毀房屋，樹木連根拔起。幸而，龍捲風低垂在地面的象鼻，一般不怎樣大，所以受損害的範圍就比較小，幾乎離開了龍捲風的象鼻十多公尺，就絲毫不受影響了。

當龍捲風發生在陸地上時，叫陸龍捲，以發生於美國中部及中國中部的溫帶地區為多，如果發生在海面上的，叫水龍捲（俗名龍吸水或龍尾巴），以發生於印度洋及南中國海為多。南極洲上偶然也有龍捲風，那就是雪龍捲了。

十　七　畫

【勵磁圈】(Field coil)

磁場來源的一種，常用作揚聲器的名稱。若揚聲器的磁場是永久磁
行造成的，謂之永磁式揚聲器；若磁場是由一個特設的勵磁線圈激發的
，則謂之勵磁式揚聲器，此式揚聲器工作時讓直流電通過勵磁圈，磁路
是氣隙中即有磁場產生，若聲頻電流通入揚聲器的音圈，音圈即能振動
。

【壓力】(Pressure)

壓力爲單位面積所受之垂直力，是一純量。如將一部物體隔離爲自
由體，作用於此體積之力系將包含此單元各面上之表面力（ *surface forces* ）。一般情況中，表面力將有垂直及平行此面之分量。在任一點上，單位面積上之垂直分量稱爲正交應力。如正交應力係沿法線負向者，稱爲壓力。壓力爲一數量，作用於微單元面 dA 之總壓力爲 PdA。在一流體質量中，作用於一點附近之壓力和方向將由經此點所取截面之方位決定。

又兩物體接觸時，就一物體而言，由另一物體向此物體作用的壓力，有時稱爲外壓力。物體內某種的壓力或內壓力，表示作用於該點微小平面的應力在該面垂直方向的分量。在固體內某種的壓力，通常隨著面的方向而異，但在靜止流體內，則與面的方向無關，所以稱其值爲液體內在該點的壓力。應力通常爲張量，但靜止流體內的壓力則爲純量。

壓力可由絕對零值（稱絕對壓力）或可由所在地點之大氣壓力（稱爲儀表壓力）起算。因此

$$P(\text{儀表}) = P(\text{絕對}) - P_{\text{大氣}}(\text{絕對})$$

標準大氣壓力之定義爲

$$1\ \text{標準大氣壓} = 14.6959\ (\text{絕對})\ \text{磅}/\text{吋}^2$$

如流體可受張應力時用壓力之負號表示之。

【壓力之單位】（ Pressure unit ）

壓力的常用單位爲牛頓／米^2，達因／厘米^2，磅／吋^2，巴（1巴 = 10^6 達因／厘米^2），大氣壓（1大氣壓 = 14.7磅／吋^2 = 1.013× 10^5 牛頓／米^2）及毫米水銀柱（760毫米水銀柱 = 1大氣壓）。

【壓力之測量儀器】（ Piezometry meters ）

托里拆利實驗的裝置是最簡單的壓力測量儀器。我們規定在緯度爲45度的海平面上，攝氏零度時，76厘米水銀柱高的大氣壓力定爲標準氣壓，稱爲1大氣壓，簡稱爲1 atm。

測量壓力的儀器可分爲氣壓計與壓力計兩大類：

1.氣壓計——又叫晴雨計。氣壓計主要的有兩種，其一是利用水銀柱的高度，以測量氣壓的水銀氣壓計。也有內部成眞空的金屬製鐵罐，看其凹凸的情形以測量氣壓的亞納洛德氣壓計（如圖17—1）。

(1)水銀氣壓計——這是據托里拆利實驗的原理，用以測量氣壓的計器。從象牙針接觸的水銀面，一直到水銀柱的上端，測量其長度，便可知$mmHg$單位的氣壓。

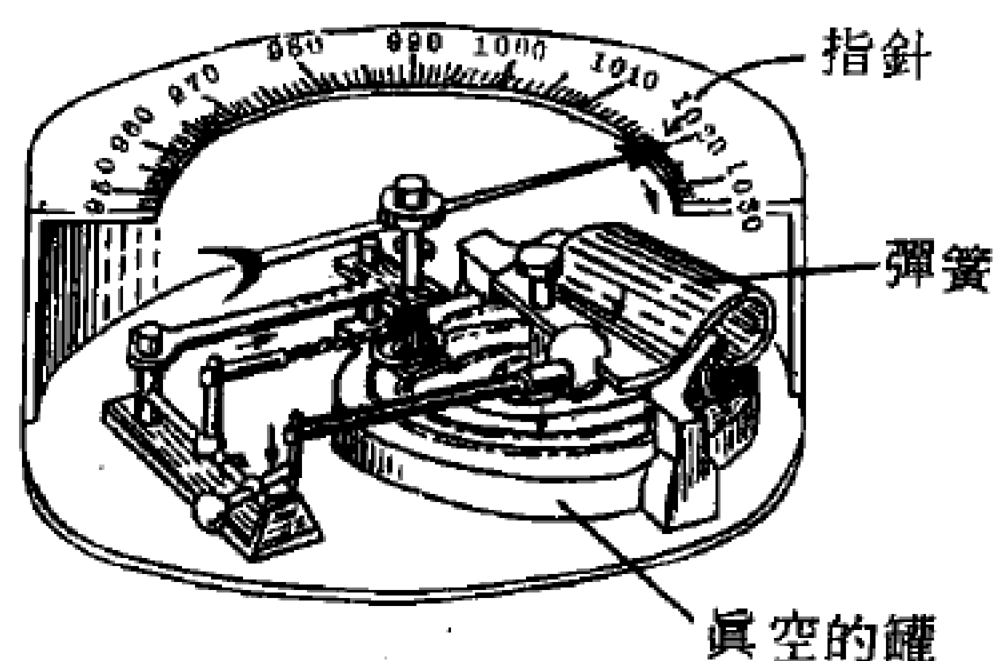


圖 17 — 1　亞納洛德氣壓計

(2)亞納洛德氣壓計——也叫做無液氣壓計。用薄皮金屬板製成的罐子，抽出裏面的空氣而成爲眞空。這個罐用彈簧支持著，以免被大氣壓壓扁。

氣壓增加時，彈簧不勝負荷，罐就凹進去，氣壓減低時，彈簧的力量較大，便使罐子凸出。這麼細微的變動，利用槓桿擴大傳至指針，以表示當時的氣壓。

亞納洛德氣壓計，比水銀氣壓計便於搬運，用法也較簡單，所以船

隻或飛機等都使用它。不過它的正確性，較水銀氣壓計差。自記氣壓計，多數是運用亞納洛德氣壓計的原理製成。

2.壓力計——在一密閉容器內，氣體的壓力與外界的大氣壓力可能不同。專門設計用來測量密閉容器內氣體壓力的器具，稱為壓力計。

(1)開管壓力計——如圖17—2；此種裝置由一個兩端開口的U形玻璃管，內盛水銀所成。測量時，把D端開口接到容器內，測出AB管與BC管內的液面差公分。若所用液體密度為d，則左右兩管所表示的壓力差為$hd\ g/cm^2$。所以容器內的氣體壓力

$$P=\text{大氣壓}+hd$$

如當時大氣壓力等於1標準氣壓，則氣體壓力

$$P=(1{,}034+hd)\ g/cm^2$$

(2)計示壓力——通常為方便計，不考慮大氣壓，而只用$hd\ g/cm^2$或$hcmHg$來表示氣壓。此種表示法叫做計示壓力。

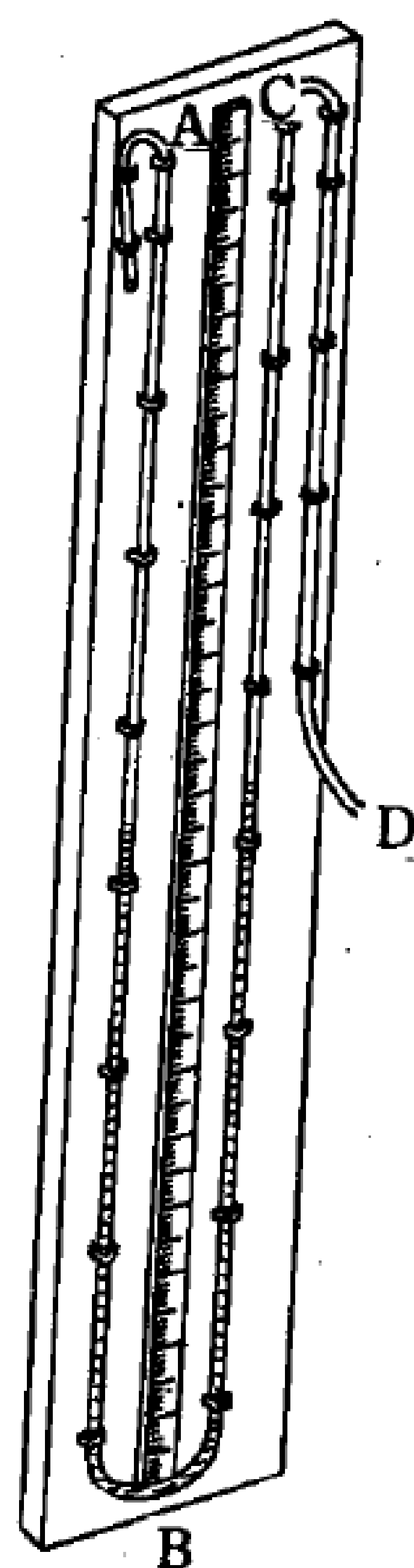


圖17—2
開管壓力計

(3)波登壓力計——是用一種有彈性的金屬管，製成弧形薄管的儀器。其一端固定不動，另一端因此種金屬薄管可隨氣壓的變化而彎曲，再利用槓桿放大表示出來。

【壓力波】(Pressure wave)

氣柱中的彈性波(如音波)與棒中的彈性波有個重要的不同處，氣體是很容易被壓縮的，當在氣柱中激起壓力變動時，氣體的密度將受到與壓力同形式的變動。

如圖17—3所示在一管子中之氣柱，設以p_0及ρ_0分別表示在平衡狀態時氣體之壓力及密度，在平衡條件下，在氣體之全部體積中，p_0

及ρ_0之值處處相同，即與x無關；若氣體之壓力受到擾動，則因爲體積基素如Adx之兩邊的壓力p與p'不相同，而使其受到淨力作用因而產生運動；結果橫截面A產生位移ξ，而橫截面A'產生位移ξ'，以致體積基素之厚度在變形後變爲

$$dx + (\xi' - \xi) = dx + d\xi$$

至此一切都與固體棒中之情況相同，然而由於氣體之壓縮性大，故隨其體積之改變，其密度也發生改變。爲此我們定義一個新的量

$$\kappa = \rho_0 \left(\frac{dp}{d\rho} \right)_0$$

而將其稱之爲體積彈性係數（*bulk modulus of elasticity*）；其單位爲牛頓/米^2。

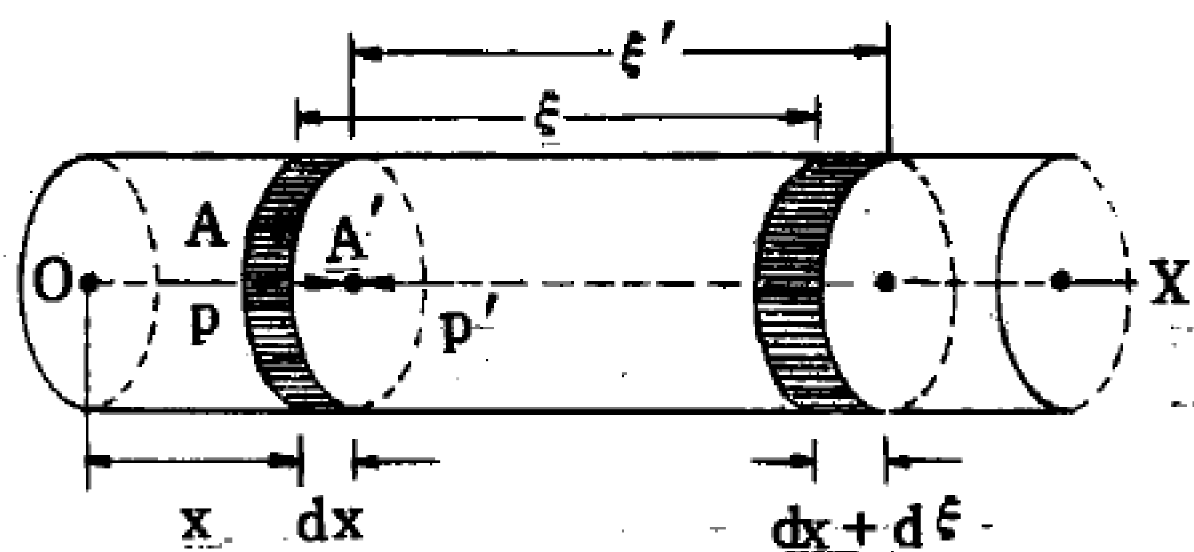


圖 17 — 3　氣柱中之壓縮波

在由橫截面A與A'所夾之體積基素左邊之氣體以pA之力向右推，而其右邊之氣體則以$p'A$之力向左推，因此向正X方向之合力爲$(p-p')A$。在此力作用之下，體積基素發生運動，結果造成波動在氣體中傳播。體積基素之運動其位移ξ滿足波動方程式

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = \frac{\kappa}{\rho_0} \frac{d^2\xi}{dx^2}$$

因此我們說在氣體中由於壓力之擾亂產生之位移以

$$v = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho_0}} \qquad (1)$$

之速度傳播。氣體之壓力也遵循波動方程式，因此可以將其寫成

$$\frac{d^2p}{dt^2} = \frac{\kappa}{\rho_0} \frac{d^2p}{dx^2}$$

這就是我們稱氣體中之壓力波爲彈性波之原因。聲音只是空氣中之壓力

波。同樣氣體之密度適合於同一形式之公式，即

$$\frac{d^2\rho}{dt^2}=\frac{\kappa}{\rho_0}\frac{d^2\rho}{dx^2}$$

因此，當論及氣體時，我們可以說它爲位移波、壓力波或密度波。

氣體中之波動通常是一項絕熱過程，因爲變化太快以至沒有時間發生熱量的轉移。在絕熱條件之下狀態方程式爲

$$pV^{\gamma}=常數 \quad 或 \quad p=常數\times\left(\frac{1}{V}\right)^{\gamma}$$

可是 $\rho\sim 1/V$，因此可以寫成

$$p=C\rho^{\gamma}$$

將狀態方程式微分則得

$$\frac{dp}{d\rho}=\gamma C\rho^{\gamma-1}$$

並從體積彈性係數之定義

$$\kappa=\rho\left(\frac{dp}{d\rho}\right)=\gamma C\rho^{\gamma}=\gamma p$$

於是代入（１）式得聲音在氣體中之速度（省去註腳０）爲

$$v=\sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

由於位移 ξ 之方向平行於其傳播之方向，故也屬縱波；然而壓力 p 不是向量，故無方向可言。有關之方向是由壓力差所產生之淨力的方向，其方向與表面垂直；因此對應於壓力場之波爲無向量波，對應於密度 ρ 之波亦爲無向量波。

理想氣體中壓力與體積之關係爲

$$pV=nRT$$

可是因爲 $\rho=m/V$，故

$$\frac{p}{\rho}=\frac{nRT}{m}=\frac{RT}{M}$$

式中$M=m/n$，爲1摩爾氣體之質量，其單位爲仟克；因此p/ρ之比值與溫度成正比，而可以寫成

$$v=\sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}=\sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}=\alpha\sqrt{T}$$

式中$\alpha=\sqrt{\gamma R/M}$。我們已知在$T=273.15°K$（或$0°C$）時，聲音在空氣中之速度爲331.45米/秒，因此係數α之數値爲20.055，而在任意溫度（以°K量度）時聲音在空氣中之速度爲

$$v=20.055\sqrt{T}\text{米/秒}$$

【壓力阻力】（Pressure drag）

作用於流動流體內物體的阻力中，物體的表面壓力，即與表面垂直的應力合力，稱爲壓力阻力。主要由於物體表面邊界層剝離而產生旋渦所致，流線型的壓力阻力幾乎等於零。

【壓力計】（Manometer）

參閱"壓力之測量儀器（*Piezometry meters*）"條。

【壓力高度】（Pressure height）

自標準平面算起的垂直距離。

【壓力容器】（Pressure vessel）

大部分的動力反應器核心通常都用一堅固的容器包住，可耐高壓。其內也包含了緩速劑、反射體、熱屏蔽和控制棒。

【壓力強度】（Pressure intensity）

是指垂直作用在單位面積的壓力，與總壓力有區別。但是通常壓力強度簡稱爲壓強或壓力。總壓力除以受力面積，即可求得壓力。常用單位爲g/cm^2、kg/cm^2、$dyne/cm^2$、$mmHg$等。一大氣壓約爲$1\ kg/cm^2$。

雖然總壓力相同，如果壓力所作用的面積小，壓力的強度卽大。例

如要將直方體的物體放置於桌上時，面積小的面與桌子接觸，比面積大的面與桌子接觸所產生的壓力強度爲大。在榻榻米上放桌子時，腳下墊一塊板，就是要使與榻榻米的接觸面增大，來減少壓力的強度。又如拿一枝削尖的鉛筆與一枝尚未削過的鉛筆，同時用同樣大小的力垂直壓在手背上，則在鉛筆尖端與平端壓下的部位所產生的疼痛各不相同。由此可知相同的力施於不同的面積上時，如果受力的面積愈大，它的壓力強度就愈小。

【壓力幅度】（Pressure amplitude）

設聲波通過空氣時，空氣壓力的變化量爲ΔP，由熱力學知

$$B=-\frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}}$$

B爲氣體的體積彈性係數（*bulk modulus*）

$$\therefore \Delta P=-B\frac{\Delta V}{V}$$

設聲波通過空氣時，沿x方向之空氣柱面積爲A，長度爲Δx之空氣的位移爲$\Delta\Psi$，則

$$\Delta P=-B\frac{A\Delta\Psi}{A\Delta x}=-B\frac{\Delta\Psi}{\Delta x}$$

如此空氣柱之長$\Delta x\to 0$，則

$$\Delta P=-B\frac{\partial\Psi}{\partial x}$$

聲波的波動函數可用

$$\Psi(x,t)=a\cos(\kappa x-\omega t)$$

求解。式中a爲聲波的振幅，κ爲聲波的波數$(\kappa=\frac{2\pi}{\lambda})$，爲波長的倒數，$\omega$爲聲波的角頻率。此波動函數適合波動方程式，故爲正確。將波動函數對x微分，則

$$\Delta P=\kappa Ba\sin(\kappa x-\omega t)$$

令 $\kappa Ba = \Delta P_0$，ΔP_0 稱爲壓力幅度，則

$$\Delta P = \Delta P_0 \sin(\kappa x - \omega t)$$

此式不但適用於氣體，也適用於液體。

【壓力寬展】(Pressure broadening)

原子及分子的光譜線有相當寬度，所謂譜線自然寬度 (*natural width*) 甚小，約爲 0.001 Å。但通常實驗所得譜線寬度遠超過此數，增加譜線寬度之一重要因素卽爲壓力致寬作用。當壓力增加時，譜線卽加寬。壓力致寬通常是非對稱的，而且譜線的最大值在大半情況下，都移向光譜的紅色端。有三種可能產生這種效應：

1. 因碰撞而使原子狀態的自然壽命縮短 (碰撞阻滯 *collision damping*)。

2. 不穩定分子的形成，或原子間的范得瓦力。

3. 原子間的電場 (史他克效應)。

第三種效應在放電現象中是最明顯的，此時離子和自由電子的密度很大。

【壓力鍋】(Pressure boiler)

壓力鍋 (如圖 17—4 所示) 又叫做高壓鍋，是利用液面的壓力增高時，沸點就上升的現象，使用高溫煮食物的鍋子。它的蓋子能栓緊，只在中央部分留下一小孔，用以調節從小孔逸出的水蒸氣的量，藉以控制內部的壓力與溫度。

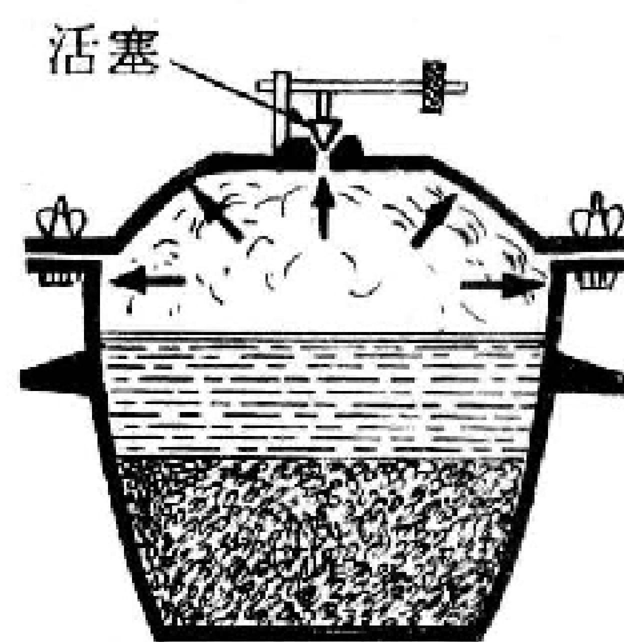


圖 17 — 4

用壓力鍋煮東西時，鍋裏的壓力會增大，沸點也增高，所以能產生 100°C 以上的溫度，用來煮食物能使食物迅速煮熟。

【壓水反應器】(Pressurized water reactor)

施高壓於第一級冷卻水使其不致因高溫而沸騰，用以把核心所產生

的熱量傳遞到熱交換器，然後在第二環路中產生蒸汽。反應器運轉時加於冷卻水的壓力使通過核心的水無法沸騰，每平方吋將近2,000磅巨大壓力之下，水可以加熱到 600°F還不至於沸騰，把這高溫的水引入一座蒸汽發生器裏，產生蒸汽轉動氣輪機，如圖 17—5所示。

在蒸汽產生器裏，中間的管子通過反應器送來的熱水，加熱周圍壓力較低的次級冷卻系統的水，使之沸騰生出 500°F 左右的水蒸氣，主冷卻系統的水不和次級的混合而以水泵送回到反應器裏去；增加這一道手續有二個好處：(1)可以減少輻射發散，核心裏放射線很強會破壞物質（包括水）的各種性質並使之帶有害人類的放射性，通過核心的水如果獨立自成一個系統，要控制放射線的危害就方便多了。(2)這種加高壓的水沸點很高，可使整個發電系統以高溫運轉，依熱力學的基本原理，這可以提高氣輪機的效率而增加發電效率並減低成本。

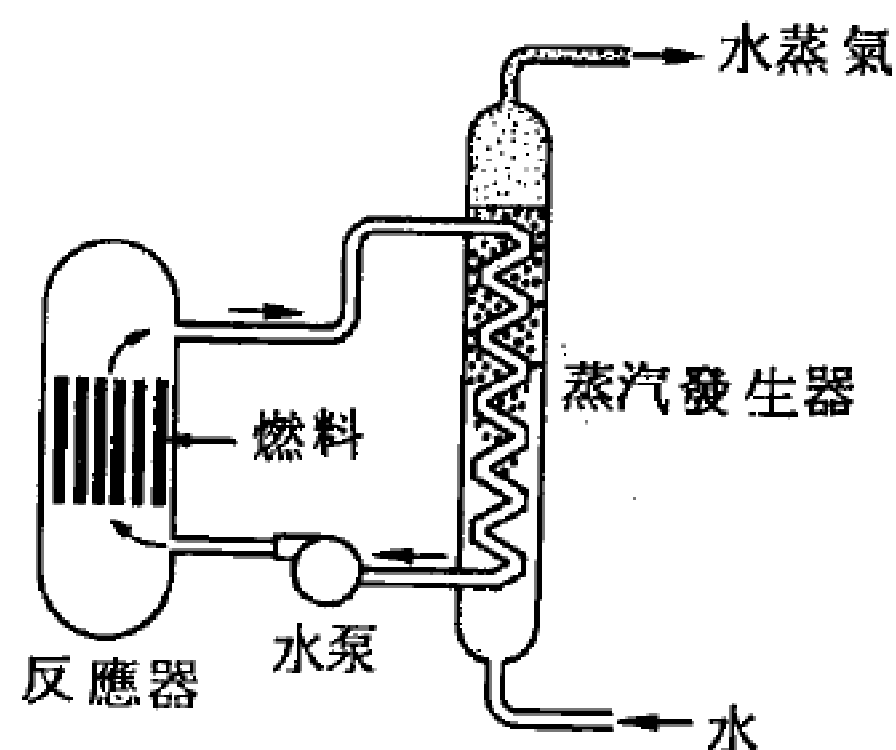


圖 17—5

壓水反應器蒸汽供應系統

【壓水唧筒】(Pressurized water pump)

最簡單的一種是手噴器（如圖 17—6所示）。當抽高活塞時，管內便形成空氣稀薄的空間，發生低壓，因此大氣壓力就從外面將水壓入器內。壓低活塞時，水乃重行噴出。

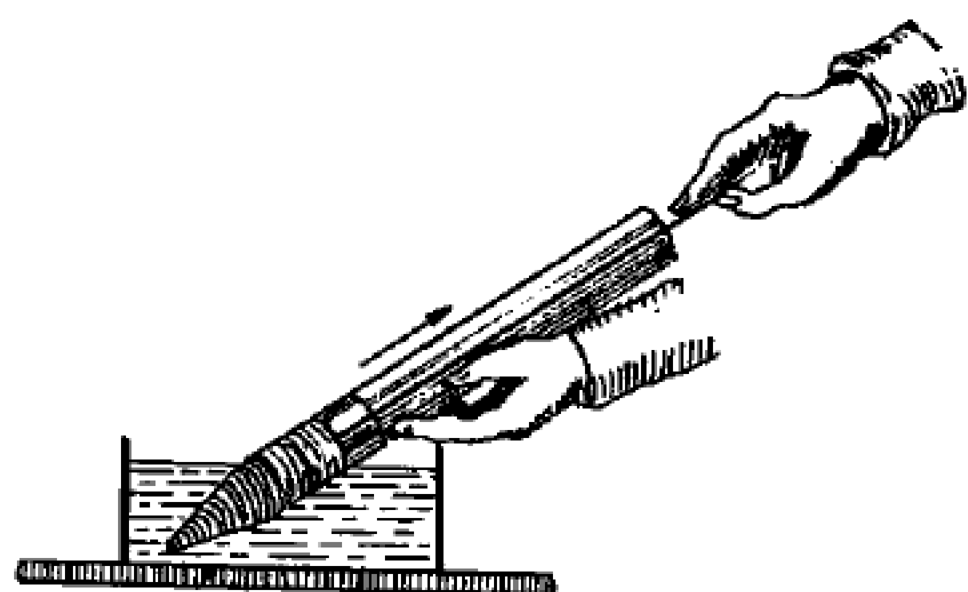


圖 17—6　手噴器

正式的壓水唧筒係用槓桿來推動，如圖 17—7所示，活塞本身並沒有活門，但在吸水管的頂部，卻有一個向上開啓的活門 v_2 ，第二個活門 v_1 則裝在壓力管接連唧筒的開口處。提高活塞時，唧筒內便形成空氣稀

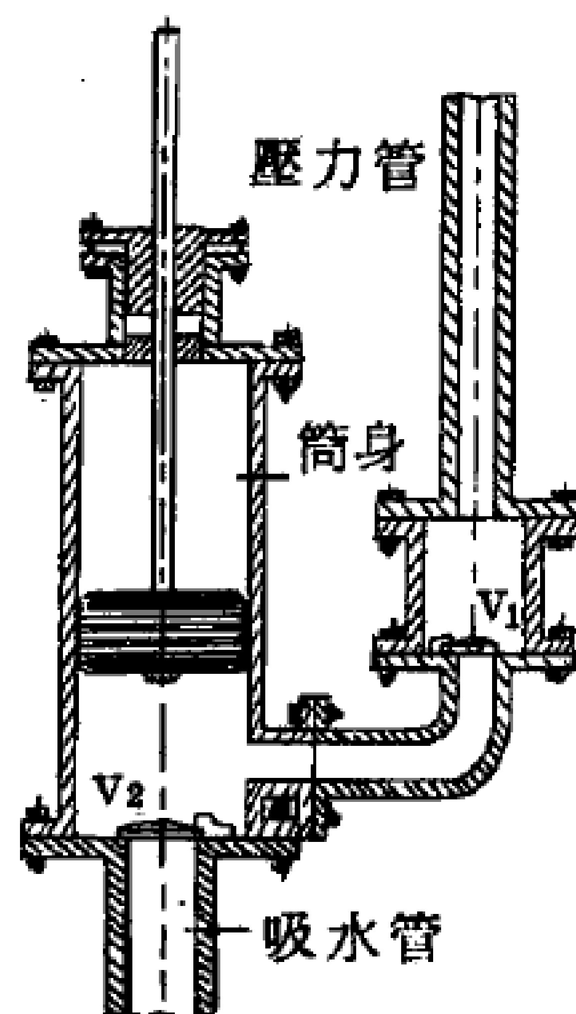


圖 17 — 7 壓水唧筒

薄的空間，大氣壓力乃將水從低處壓入這空間裏。在這個過程中，活門 v_1 關閉，v_2 開啓。當活塞下壓時，v_2 關閉，唧筒裏面的水乃經由開啓的活門 v_1，被壓入壓力管中，並從這管子裏強烈的噴射出來。

與吸水唧筒情形一樣，水被正常氣壓驅入吸水管時，最多只能到達10.33米的高度。但是壓力管做成任何長度卻可聽便；因爲壓力管裏的水並非是由外界的氣壓，而是經由加在活塞上的壓力所壓出的。因此，壓力唧筒常被用在需要把水唧高到超過10米的各種場合。此外，水在繼續運動時，如需克服巨大的壓力，例如供應鍋爐之給水，也非應用壓力唧筒不可，所以壓力唧筒必須比吸取唧筒製造得更加堅固。

【壓能】(Pressure energy)

由壓力施於流體所作之功。壓液體入另一液體內（反抗壓力方向），或有液體自另一液體中流出（與壓力同向）時，無論其速度、深度有否改變，均有壓能消耗或放出。液體流出時所放出的壓能與其時的動能相等。

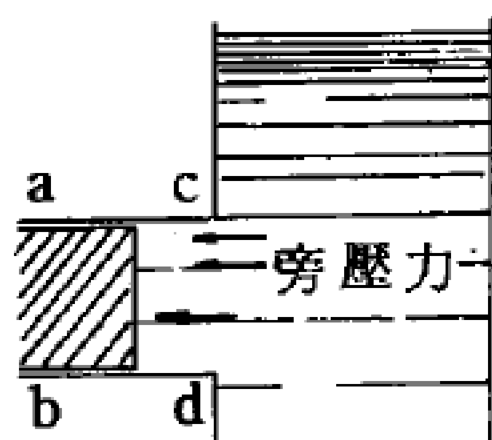


圖 17 — 8

壓能可由將一定質量的液體，反抗另一部分液體的壓力方向，壓入流體容器中所需的力測定之。如圖17—8，設原在 $abdc$ 截面內之液體的質量爲 m = 體積（u）× 密度（d）。壓其入 cd 線內時活塞上所施之力爲 F，活塞的截面積爲 A；由 ab 至 cd 的位移爲 S。則此被壓入的液體所受的壓力

$$P=\frac{F}{A}\ (=\text{旁壓力})$$

由功之定義，得其所耗壓能爲：

$$W=FS=pAS=pU=p\frac{m}{d}$$

流動流體中共有三種能量：

$$動能=\frac{1}{2}mv^2$$
$$位能=mgh$$
$$壓能=\frac{pm}{d}$$

【壓強】(Strength of pressure)

壓力強度的簡稱。

參閱“壓力強度 (*Pressure intensity*) ”條。

【壓電式揚聲器】(Piezo-electric loud speaker)

壓電式揚聲器 (如圖17—9) 是利用特殊晶體的壓電效果所製成。其作用與晶體傳聲器恰爲相反。即當晶體的表面加一電壓使其一面發生荷電現象時，晶體即產生一種移動力。因此當所加的電壓不斷的交變時，便使晶體產生響應性的振動。這種振動傳動振動膜板，即可製成壓電式揚聲器。

壓電式揚聲器，因爲晶體的阻抗較高，而且具有不能受潮及不耐高溫的缺點，所以除了特殊的需要外極少被採用。

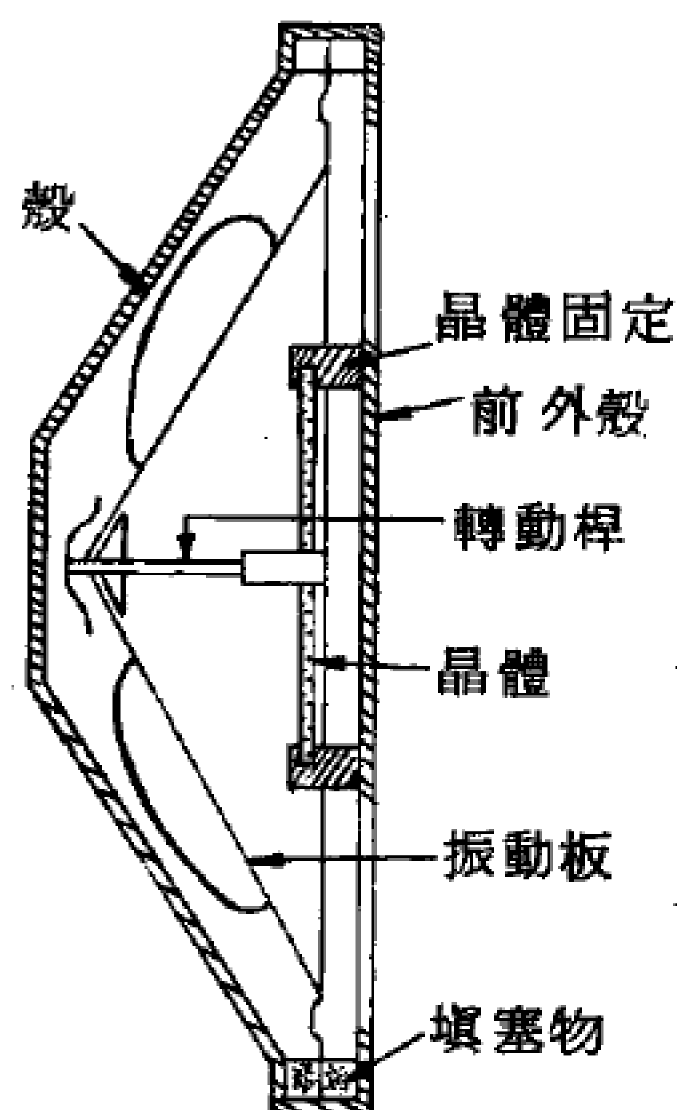


圖 17 — 9
壓電式揚聲器之構造

【壓電效應】(Piezo-electric effect)

物體受到機械變形時表面上產生電荷 (正壓電效應) ，例如一片結晶石英，加以壓縮就會在相對的表面上產生不同符號的電荷；以及受到電場作用時發生機械變形 (反壓電效應) 的效應，如加一電壓於和晶體面接觸的金屬層上，所產生的電場會使得晶體根據電場是朝向這方面或那方面產生擴張或收縮。正效應與反效應永遠是相伴而生的，二者在工程上都有重要的應用。具有壓電效應的晶體如石英、電氣石、酒石酸鹽

，可以用來作成壓電晶體諧振器或壓電換能器，例如壓電式揚聲器、微音器和拾音器等。

【壓電現象】(Piezoelectricity)

1880年居里兄弟在某些非對稱性晶體，如石英、電氣石(*tourmaline*)等物質中首先發現壓電現象。現在確定所有鐵電態的晶體均有壓電現象，即加壓力Z於晶體上，會改變晶體的電極化。同樣地，加電場E於晶體上，也會引起晶體的結構變形。極化與所加壓力的關係及彈性應變與所加電場的關係，可以下式表之：

$$P = Zd + Ex$$

$$e = Zs + Ed$$

式中P表極化強度，Z為壓力，d為壓電應變常數，E為電場，x為介電極化率，e是彈性應變，s為彈性常數。不是鐵電態的晶體也可以有壓電現象，石英即一例。

【壓縮】(Compression)

指物體受力時，在受力方向上有長度縮短現象。

【壓縮因數】(Compressibility factor)

壓縮因數定義為

$$\frac{PV}{RT}$$

式中P為壓力，V為體積，R為氣體常數，T為絕對溫度。

【壓縮波】(Compressional wave)

或稱縱波。

參閱“縱波(*Longitudinal wave*)”條。

【壓縮係數】(Compressibility)

體積彈性係數的倒數謂之壓縮係數。設一均質物質，在壓力為p時，其體積為v。當壓力由p改變至$p + dp$時，體積由v變至$v + dv$。則此物質的體積彈性係數κ定義為壓力的變量dp與應變dv/v之比，即

$$\kappa = -\frac{dp}{dv/v} = -v\frac{dp}{dv}$$

故壓縮係數卽爲

$$\beta \equiv \frac{1}{\kappa} = -\frac{1}{v}\frac{dv}{dp}$$

通常觀量度時的情況爲等溫或絕熱過程，而有等溫壓縮係數與絕熱壓縮係數之別。在理想氣體的情形，等溫壓縮係數爲 $1/p$，而絕熱壓縮係數爲$1/\gamma p$，p 爲氣體的壓力，γ 爲等壓比熱與等容比熱之比。在液體及固體情形，壓縮係數均甚小，故並不直接由體積對壓力之變化率求得。固體可由楊格係數 E 及剛性係數 n 求得如下關係：

$$\beta = \frac{9}{E} - \frac{3}{n}$$

玆列幾種常用材料的壓縮係數如下：

材料	壓縮係數（厘米^2/達因）
鋼	0.6×10^{-12}
銅	0.7×10^{-12}
黃銅	0.9×10^{-12}
鋁	1.3×10^{-12}
鉛	3.7×10^{-12}
玻璃	2.1×10^{-12}
水	50.0×10^{-12}
汞	4.0×10^{-12}

【壓縮氣體】（Compressed gas）

凡需要大量氣體的場所，處處都會用到壓縮氣體，因爲在壓縮情況之下，就無需再佔用龐大的容積空間了。

例如，氣體焊接是將兩塊金屬不用錫焊，而以高熱之火焰來熔接的一種方法。這種火焰乃由氫氣在氧氣裏或是乙炔氣在氧氣裏燃燒而得來的。滅火器中應用的是壓縮碳酸氣。碳酸氣需要等到換作滅火器的一瞬間，才使它經過化學作用而產生，期使窒息火焰的滅火液及碳酸氣能在

強大的壓力下射出。

其他利用壓縮空氣以推動機器之例尚多，例如混凝土擊碎器與鑽開隧道的鑽機，只要能向工作地點繼續導進新鮮空氣的地方都可利用。此外，壓縮空氣的推動力，不但常被利用於氣槍及魚雷發射砲等方面，且有若干大都市用它來傳送郵件，此即所謂管郵。係將信件及明信片等裝在皮製或鐵製的盒子裏，利用空氣壓力（有時也利用稀薄空氣的吸力）將其經過一管線系路，很快的送到遠處另一地點。

壓縮空氣在潛水鐘方面之應用，空氣由壓縮唧筒從上面送入潛水鐘後，除更新鐘內的原有空氣外，還可以將進入鐘內的水擋回去。壓縮空氣制動器，其所需之壓縮空氣都是由火車或電車上的空氣壓縮唧筒製造供應。司機要制動時，就撥動活門，讓約爲8大氣壓的壓縮空氣將一活塞向前推動，使制動器上的制動板壓住輪圈。如要放鬆制動器，就將壓縮氣缸放空，另由彈簧頂鬆制動器。制動以後所聽到的嘯聲，乃因壓縮空氣由氣缸內外逸而發生。

【壓縮唧筒】（Compression pump）

能將空氣壓入容器內的唧筒，稱爲壓縮唧筒或稱打氣筒。其作用恰和空氣唧筒相反。

如圖17—10，A圓筒中安置一活塞以備壓氣之用，筒之底部有孔通於左右之mn管，向右之通路上有一活瓣B僅能向內開，向左之通路上有一活瓣B'僅能向外開。提上活塞時氣體入m管，推開B瓣，入A筒內，此時B'瓣閉；壓下活塞則B瓣閉，而B'瓣開，氣體出A筒經n管可送入他器中。由是若以甲貯氣器連於m管，乙貯氣器連於n管，上下活塞，則甲內氣體可移於乙內，且使乙內氣體壓力強大。

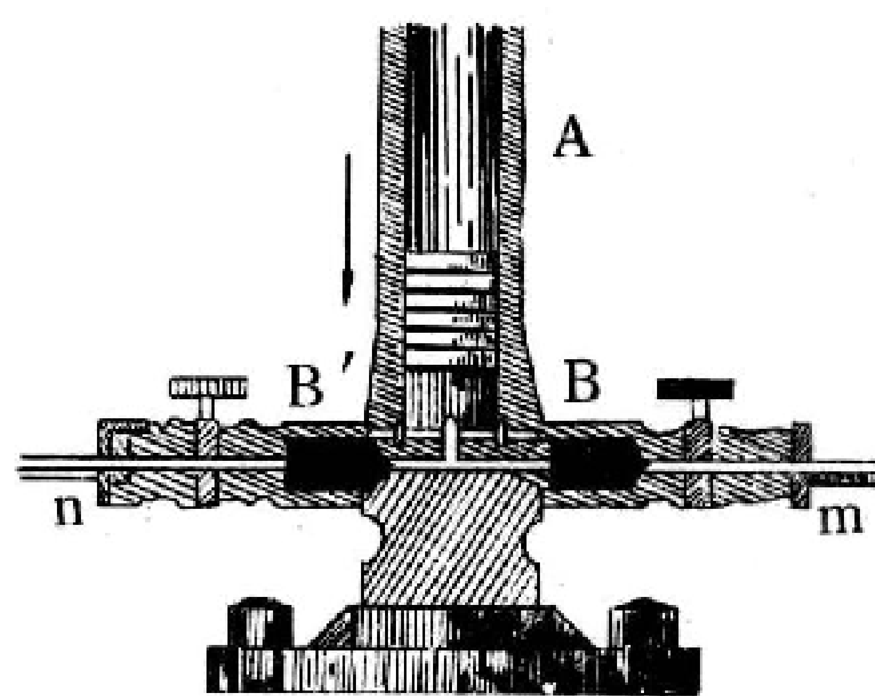


圖 17 — 10

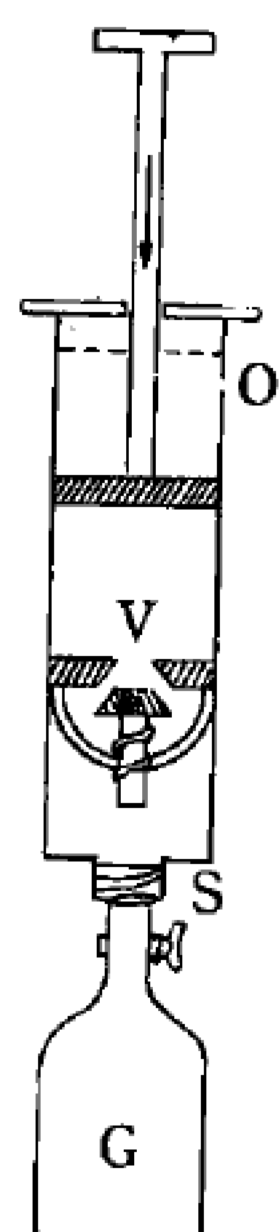


圖 17 — 11
配有錐形活門的壓縮唧筒

一般實際所用之空氣壓縮唧筒，通常都配有能夠自行操作的錐形活門（如圖 17 — 11 ）。

此類唧筒乃由一筒身做成，裏面有一個隔絕得密不透氣的活塞，能往復運動。上部筒壁上有一側向開口 O。當活塞在最高位置時，外界的空氣便經由 O 口流入筒內，筒底的錐形活門 V 則被彈簧向上壓閉。當活塞下行時，空氣受到擠壓，活門 V 便開啓，空氣則被壓入旋緊在 S 上的厚壁容器 G 裏面。如再將活塞向上提過 O 口，筒內便又重新充滿了大氣間的空氣。此時，活門 V 則被彈簧的壓力以及壓縮空氣作用於活門上的壓力所封閉。等到壓縮空氣容器 G 上的管塞被關閉以後，就可以將 G 從唧筒上旋下來。

輪胎唧筒就是上述方式的一種壓縮唧筒。我們可以用壓縮唧筒將任何氣體加以壓縮。但是煤氣卻是用另一種方法來壓縮的，煤氣廠裏的鐘罩式儲氣槽，其作用不僅在集儲煤氣，而且由於那用鍛鐵做成的大鐘，其下端係浸沒在水裏，所以更可藉鐘罩本身的重量將壓力加在被封閉的煤氣上。鐘罩的重量乃另用一平衡重量加以調節，期使煤氣保持一定的壓力。

【壓縮熱】(Compression heat)

流星大部分熱量之產生，是由於隕石前端附近之空氣，受著強力壓縮所致。如果我們將空氣打入腳踏車的內胎，則腳踏車空氣幫浦之活門開口會變熱。無論何處，只要空氣或氣體受到壓縮就會生熱。

【壓縮器】(Compressor)

壓縮器的作用是將由進氣導管引入的氣流，經過壓縮作用，使氣流體積縮小，壓力增大，同時溫度也上升，然後這種壓縮空氣由擴散導管導入燃燒室，與燃油充分混合後，點火燃燒，產生能量。在設計上我們要求它的壓縮比（氣體經壓縮後的壓力與壓縮前的壓力比值）儘量

提高，另一方面我們也要顧慮到製造壓縮器葉片的金屬材料是否經得起高壓氣流的衝壓而不變形，由於葉片不能使用太重的金屬材料，所以近代已發展用鎂、鈦來製造合金葉片。

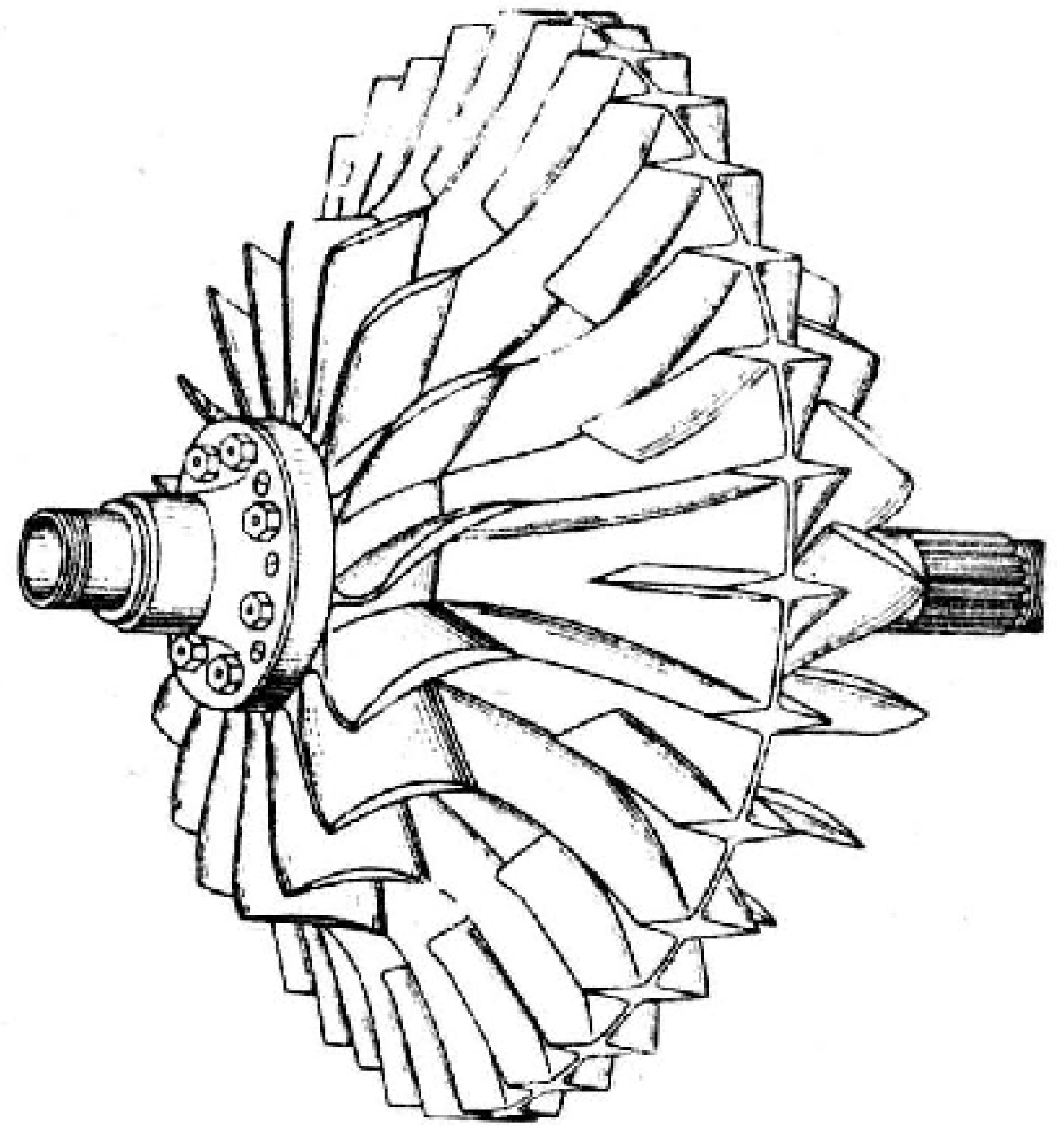


圖 17 — 12　輻流式雙面壓縮器

型式上，壓縮器可分為輻流式與軸流式二種：輻流式（如圖 17 — 12）是一種早期型式的壓縮器，它是由葉輪與擴散器組成，葉輪是合金鋼的圓盤鑄上凸出的葉片而成，由於葉輪的轉速極高，離心力使得空氣高速輻射狀的流出，經過葉輪外緣擴散器的減速增壓作用，使得氣流壓力增高，再進入燃燒室。雖然構造簡單，成本低廉，級壓縮比（即氣流經過一環葉輪後，壓力前後的增加比）高，通常可達四、五倍；但在航機上，因其級數無法增加，總壓縮比有限，其前視面積過大（不利流線型飛機），推力又有限制，故現在已落伍。

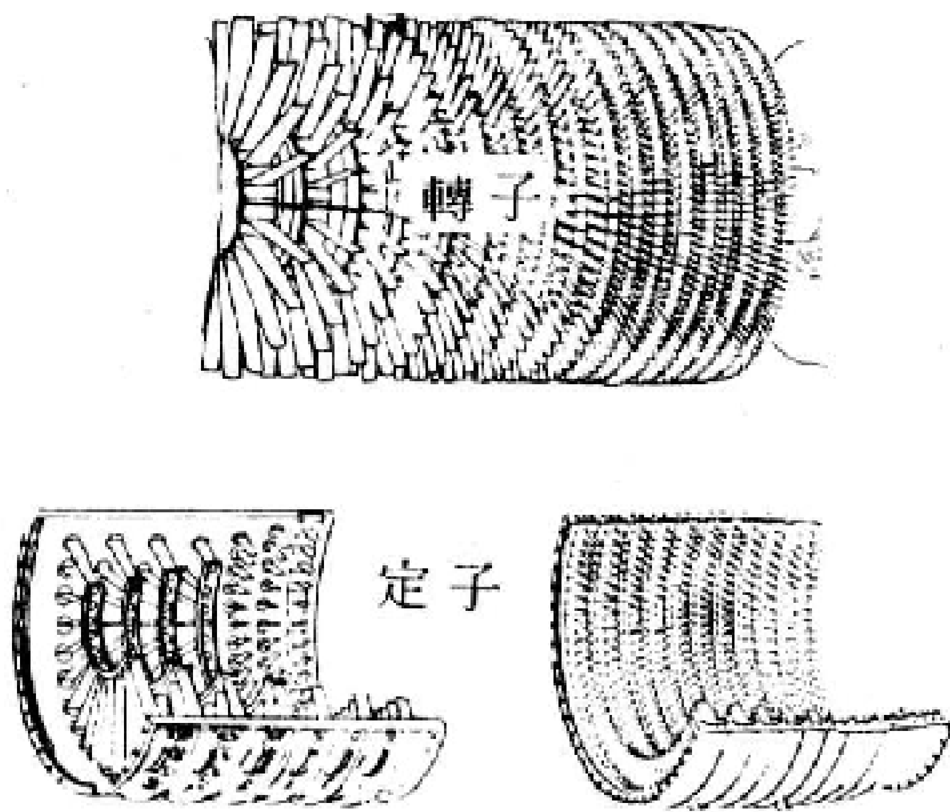


圖 17 — 13

軸流式壓縮器

軸流式壓縮器（如圖 17 — 13）是因為氣流被壓縮時，以平行於轉軸的方向流出而得名，它的構造包括定片與動片（或稱為定子與轉子），每一組定片與動片，合稱為壓縮器的“級”，級數愈多，總壓縮比也愈大（現已有二十級的壓縮器）。動片固定於轉軸圓盤上，可以轉動，定片固定於機匣上，不能轉動，動片的作用好似輻流式的葉輪，而靜片

好似擴散器，所以說軸流式是輻流式的改良型，使每一級都成爲一個小的壓縮器，所以推力大的引擎均用軸流式的壓縮器。

爲了要防止失速，由軸流式壓縮器改良成雙轉子分段式（*dual-rotor*）壓縮器，它將壓縮器分爲二大段，由不同的渦輪分別帶動，利用渦輪不同的轉速，壓縮器由雙套式的轉軸帶動產生高、低二種不同的壓力，避免壓縮器同時失速。也有新式的壓縮器，在某些級的定片角度上可以做微微的調整，這一方面可以增加壓縮效率，同時也可以改變進氣量而防止失速。

壓縮器運轉時（全速運轉大約在8,000 *rpm*以上）吸入大量的空氣（一分鐘大約150磅以上），所以在進氣口附近形成巨大而具有強力吸力的渦流區，有些大型引擎的進氣口甚可將立於前面的人員吸入，所以進氣口前面的扇形面積爲每一位人員應注意不可停留的地方。

壓縮器最初由渦輪帶動，當它的轉速達到某一定的標準，即可以壓縮空氣，供燃燒室產生熾熱高速的氣流，再吹動渦輪，提供渦輪持續性的動力，所以壓縮器又有反饋作用。

【應力】（Stress）

在體內任意點作一平面，則在此平面一方之物質對於在其他方面之物質所發生之力，適與後者對於前者所生之力相等。此一對相等且相反之力，名爲應力。即物體在每單位面積上所升之彈力；或單位面積接受力後，引起物體體積或形狀之變形。

應力有九個分量：X_x, X_y, X_z, Y_x, Y_y, …等，其定義以X_y爲例，X_y代表垂直向量在y向的平面單位面積所受X方向的力。平衡時，由靜力學原理可得，$Y_z = Z_y$，$Z_x = X_z$及$X_y = Y_x$。與作用面成直角的應力分量稱爲正應力。如果因負載產生的合應力通過物體的重心時稱爲軸向應力。使絲線伸長的作用力是張應力，使其縮短的稱爲壓應力。任何應力與作用面平行的分量稱爲切應力。

作用於一平面切應力爲零的點上之正應力稱爲主應力。若此正應力是張力，則稱之爲對角張應力；如果是壓力，則稱之爲對角壓應力。

【應力主軸】(Principal axis of stress)

應力有九個分量（六個獨立的分量），顯而易見地分析連續體時，必然非常複雜。爲了計算方便，如處理慣性矩的問題一般，選擇適當的坐標，以消去切應力，這種坐標軸稱爲應力主軸。各軸的正應力則稱爲主應力（*principal stress*）。

流體與固體性質的主要不同，在於流體不能抵抗切應力，即當流體受到一個切應力後，會產生連續性的變形。因此對靜止的液體而言，任何方向的切應力都會等於零。

【應力腐蝕】(Stress corrosion)

譬如反應器壓力容器所發生的化學侵蝕，是由於壓力的集中而增速，由外加或負載所導致。

【應變】(Strain)

彈性體受外力之作用，其容積或形狀改變之量，名之爲應變。三種最簡單的應變是：

1. 縱向應變——單位長度的長度變量，如拉長一線。

2. 體積應變——單位體積的體積變量，如一物體受水壓力。

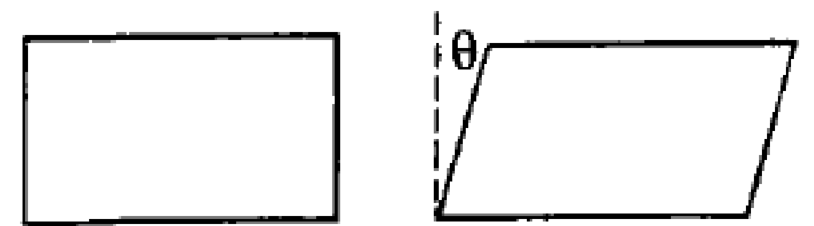


圖 17－14

3. 切應變——體積未變的角變量，如圖17－14，一長方塊受力，有兩相對面呈平行四邊形，而其他面不變形的應變。此應變的度量是角變形 θ 的弧度數。

【應變介質】(Strain medium)

計算應變介質之能量時，可利用重疊定律，而分別計算各應變分量所需之功，再求其總和。其單位體積之位能爲

$$U=\frac{1}{2}(2\mu+\lambda)(\varepsilon_{11}^2+\varepsilon_{22}^2+\varepsilon_{33}^2)$$
$$+\lambda(\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}+\varepsilon_{22}\varepsilon_{33}+\varepsilon_{33}\varepsilon_{11})+2\mu(\varepsilon_{12}^2+\varepsilon_{23}^2+\varepsilon_{31}^2)$$

取應變主軸OB及AC（如圖17—15），則

$$\varepsilon_{11}=\frac{\overline{BB'}}{\overline{OB}}=\frac{h}{2}$$

$$\varepsilon_{22}=\frac{\overline{C'A'}-\overline{CA}}{\overline{CA}}=-\frac{h}{2}$$

$$\varepsilon_{33}=0$$

$$\varepsilon_{12}=\varepsilon_{23}=\varepsilon_{31}=0$$

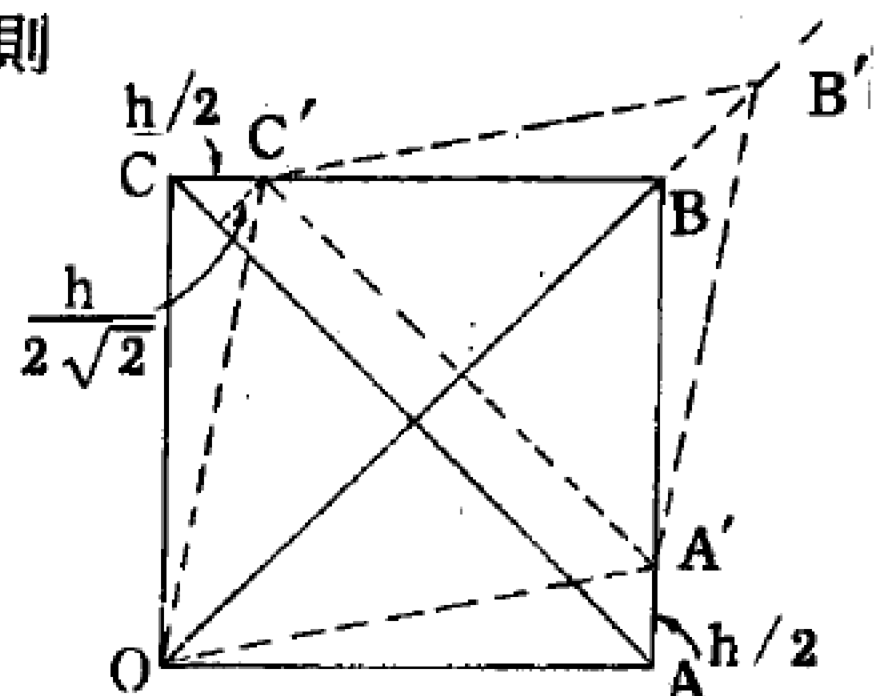


圖 17—15　切應力及張力應變

故此單位體積應變之位能為

$$U=\frac{1}{2}(2\mu+\lambda)(\varepsilon_{11}^2+\varepsilon_{22}^2)+\lambda\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}=\frac{1}{2}\mu h^2$$

【應變計】（Strain gauge）

半導體對光能、熱能、磁場及機械力等均有十分靈敏的反應。假定在一長條矽（Si）棒的兩端加一外力，於是棒中的原子排列就會略有改變，而使能隙的寬度增大，那就是說電子及空穴數會跟著減少，而矽棒的電阻則增大。半導體內的電子及空穴數，因禁戒能隙寬度的變化而變動極快，因此應用矽或其他半導體可以製成靈敏度極高的應變計。應變計是測量物體受力時長度變化的儀器，種類很多，但都是將線性應變dl/l轉換成比例變化的電學計量，如電流、電壓等，這些量可以直接測得，然後推算出應變的大小。

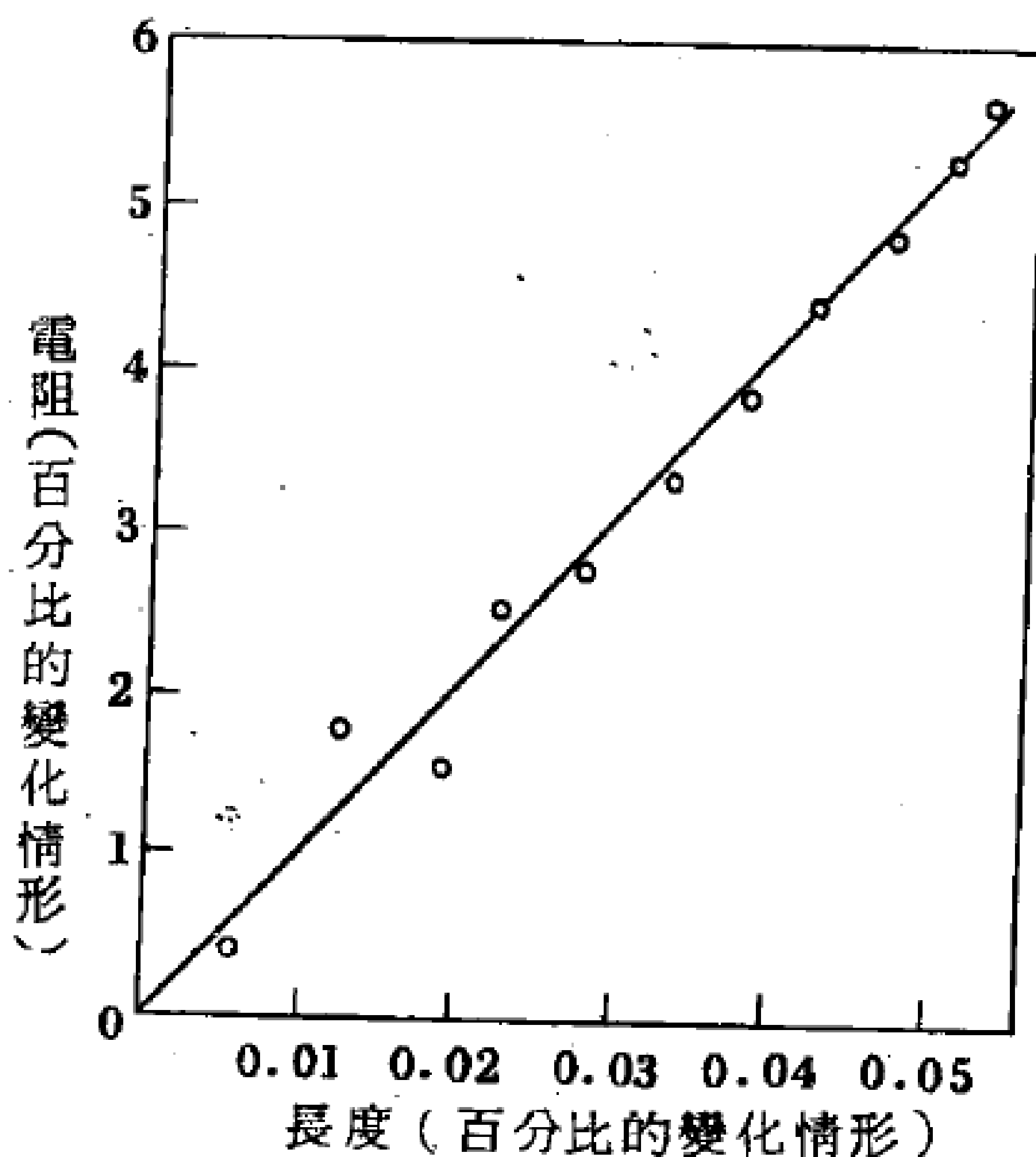


圖 17—16
矽應變計長度與電阻的變化狀況

舉個例來說，若要測量一座鐵路橋樑的鋼桁，因風力或火車通過

時所引致的長度變化，我們可以把一具半導體應變計緊密裝置在鋼桁上。當鋼桁的長度起了變化時，半導體的長度就跟著改變，而晶體的電阻也就改變了。測出電阻的變化量之後，再設法換算成應力（ *stress* ）的大小，土木工程師就能夠知道鋼桁受力的狀況是否超過了設計極限（*design limit* ），所謂設計極限是實驗室中測得的鋼桁斷裂前所能忍受的最大應力。

圖 17—16 所示爲標準矽應變計的靈敏度曲線。若長度改變原長度的萬分之五，電阻卽能改變百分之六，百分之六的電阻變化是極易測定的，可見它能測出極微小的長度變化。矽應變計約比其他應變計靈敏70倍以上，但對溫度變化敏感是其最大的缺點。半導體的電阻因溫度變化而變動甚速，但此一變化與應變無關，通常說來，精密測定溫度值，可以把這種溫度變化去掉。這種溫度變化可以用矽熱變電阻器來測量。實際使用時，多將兩具同型的應變計接在一個線路上，以使它們的熱效應互相抵銷掉。

【應變硬化】（Strain hardening）

金屬晶體加壓太大時，會生變形。如層塑性變形，開始時其變化很大很快，但切變強度逐漸增強，因此整個物質的強度隨塑性變形而增加，這種現象稱爲應變硬化。它的成因乃是由於變形後各層晶體排列互相卡住，以致一般金屬晶體易於發生的整層滑動現象不能進行。

【擊穿電壓】（Puncture voltage）

能使絕緣物擊穿的電壓。普通指比固定電容器介質的耐壓值略大的電壓值。

【檢波】（Detection）

將接收電路中之振動電流整流，使成單向之脈動直流，以引起膜片振動而知有無電波傳到之手續，稱爲檢波。凡具備單向傳導或一方向導電優於另一方向的工具，都可以擔任檢波的工作。

解調制（*modulation*）或檢波的程序正與調制的程序相反，檢波就是將在已調制載波所含的信號分出。關於對已調幅載波的檢波，包括對射頻載波的整流（*rectification*），以及濾出聲頻調制信號的程序。關於對已調頻載波的檢波比較複雜，通常先使已調頻載波成爲等幅已調頻載波，以減低雜波，後將已調載波的頻率變化，轉換成聲頻信號波幅變化。

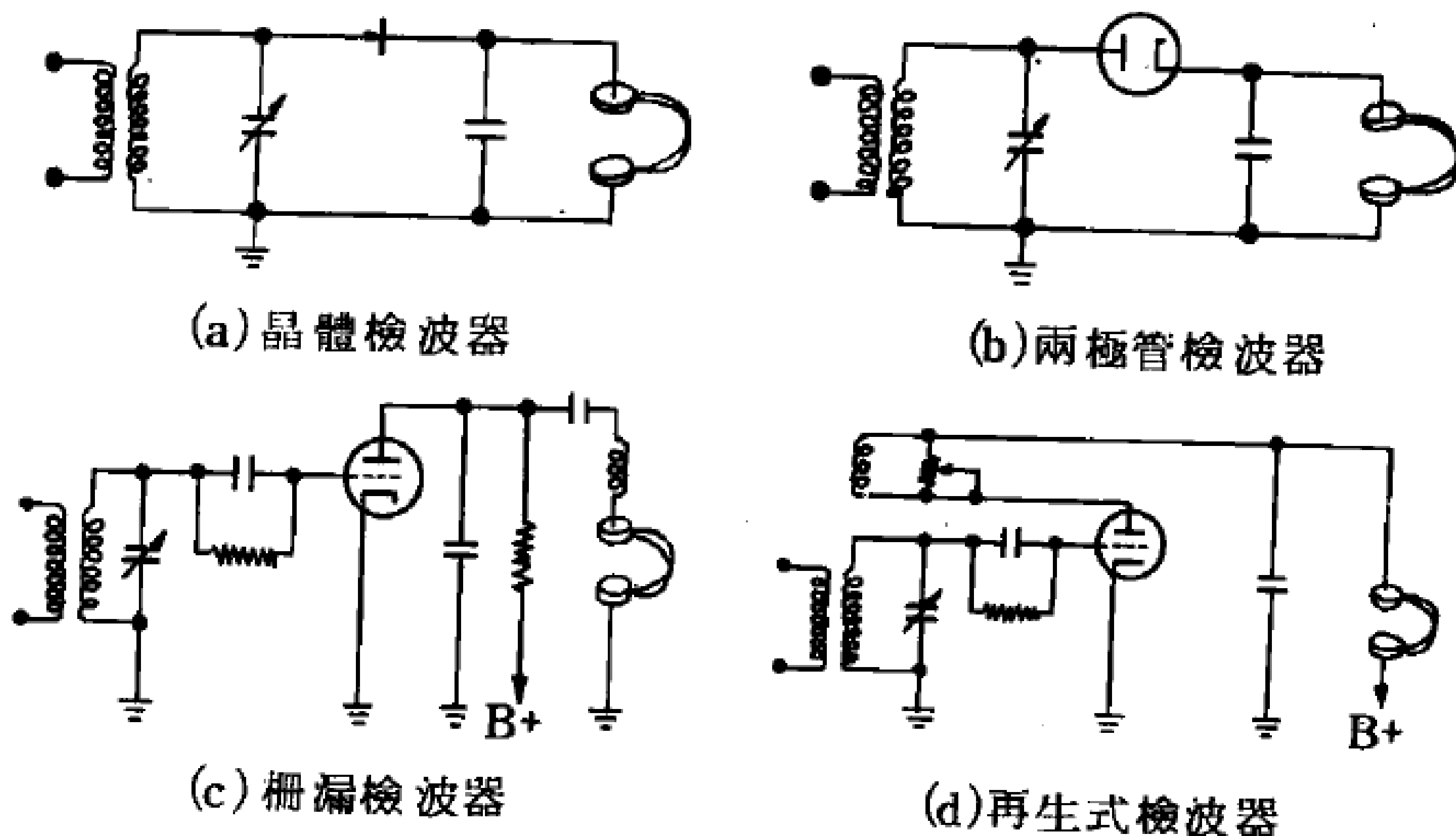
通常接收電波聽筒膜片具有慣性，不能隨振動電流之頻率而振動（即隨之振動也超出聽限而無法覺察）；故需另置檢波器於諧振電路中，以使調幅波變爲單向脈動電流通入收話器中，再由此變爲聲波傳入人耳。一般有晶體檢波器（*crystal detector*）和眞空管檢波器。

【檢波電路】（**Detection circuit**）

在諧振電路選得的射頻振盪電流，並不能使受話器發聲。因此，必須由射頻振盪電流中把音頻振盪電流析出來，這種過程叫檢波；而作此種功用的電路叫檢波電路。

【檢波器】（**Detector**）

無線電收訊機的基本任務，是將高頻電波轉變成低頻電波，然後才能使原來的訊號再現出來，這一過程稱爲檢波。完成檢波作用的設備，叫做檢波器。



(a)晶體檢波器　(b)兩極管檢波器　(c)柵漏檢波器　(d)再生式檢波器

圖 17 — 17

電子管、半導體或某種礦石均能完成檢波作用。用電子管做的檢波器，叫電子管檢波器；用礦石做的檢波器，則叫礦石檢波器。

檢波器最基本的動作，就是將交變的振盪電流電壓變成單向的電流電壓。能完成此項工作的都可以擔任檢波。

檢波器種類很多，如圖17—17所示。玆列表示其特性如右表。

名稱	特性
晶體檢波器	靈敏度低　選擇性差 傳眞度高　可靠性低 有承受強大信號能力 運用簡單經濟
兩極管檢波器	靈敏度低　選擇性差 傳眞度優　可靠性尚可 有承受強力信號能力 能供給自動響度控制電壓
柵漏檢波器	靈敏度高　選擇性差 逼眞度低　可靠性尚可 容易被強大信號超載 當接收信號時屏極電流減低
再生式檢波器	靈敏度極高　選擇性優 逼眞度最差　可靠性低 容易被強大信號超載

【檢射計】(Cutie pie)

一種普通的輻射測量計，可用來決定輻射暴露程度或指出可能遭受輻射危害的位置。

【檢偏振鏡】(Analyser ; Analyzer)

用以觀察起偏振鏡(*polarizer*)所透出之偏振光之第二稜晶，稱爲檢偏振鏡。由二組透鏡集合而成，其對於眼之一組透鏡，謂之目鏡。對於物體之一組透鏡，謂之物鏡。目鏡之焦點距離極小，如圖17—18，於物鏡M焦點距離稍外，置實物AB，則擴大而生ab實像，此實像生於目鏡N之焦點距離以內，隔目鏡N觀之，則更擴大爲$a'b'$

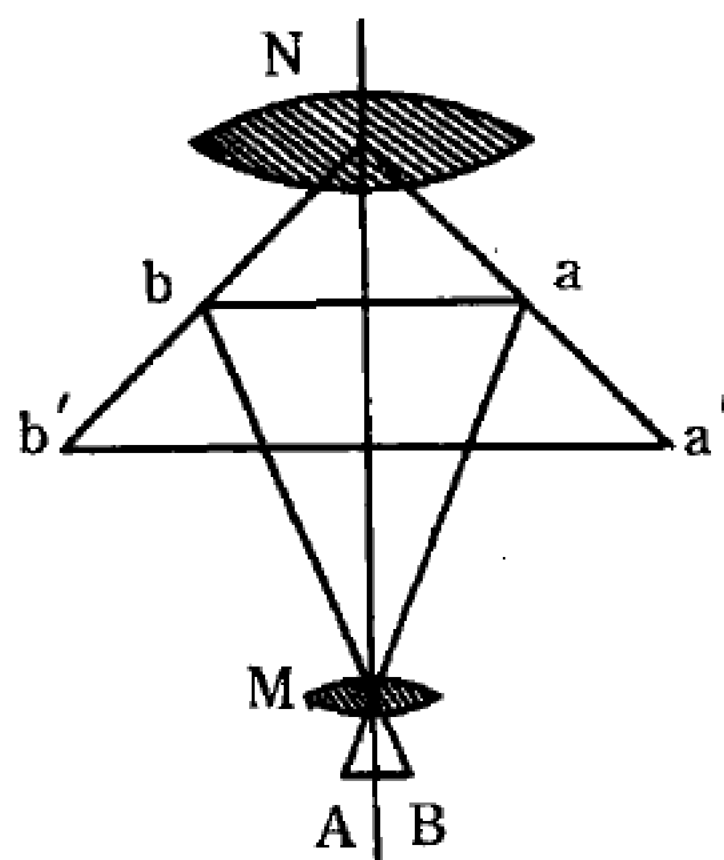


圖17—18

虛像。

透過一檢偏振鏡的偏振儀器以觀測線偏振電磁波強度之變動。如圖17—19，檢偏振鏡為一傳送一波使其電場平行於軸AA'的儀器，當檢偏振鏡之軸AA'與入射線偏振波之電場夾角為θ時，它只傳送分量　$E_A = E\cos\theta$

因波之強度與電場之平方成正比，故可得關係式

$$I = I_0\cos^2\theta$$

式中I_0為入射波之強度，而I為透射波之強度，此結果被稱為馬

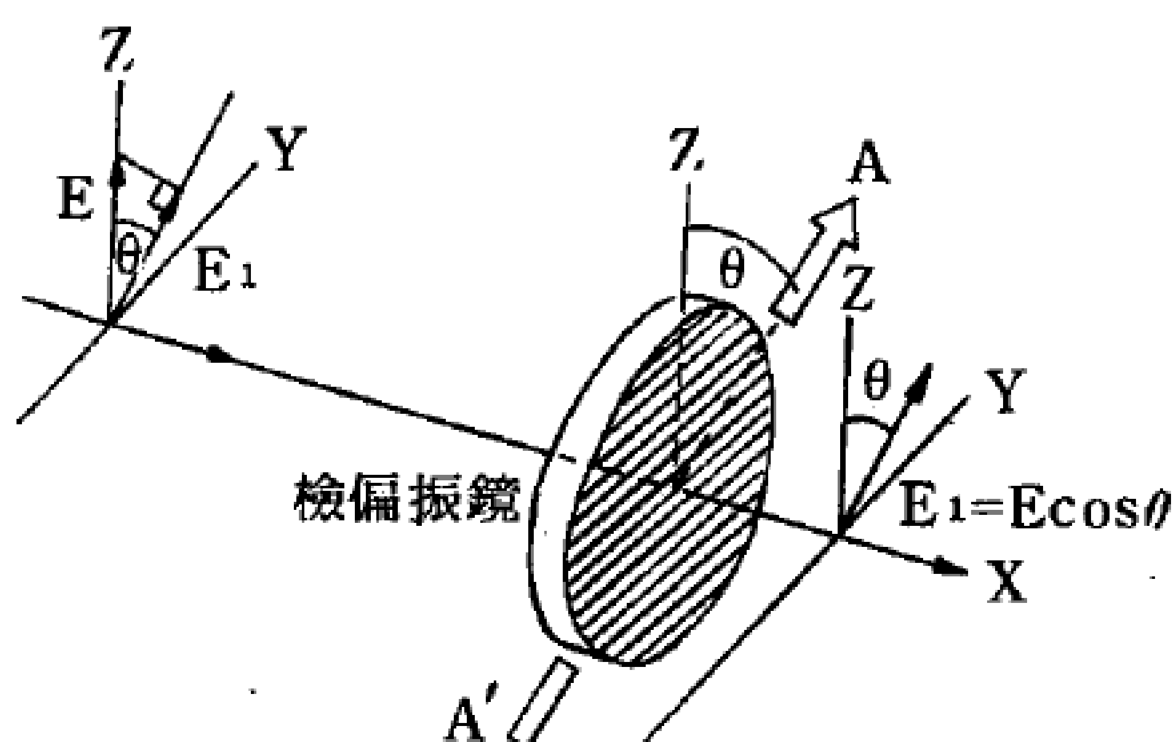


圖 17 — 19
線偏振光之強度隨檢偏振鏡方位之變更而改變

呂士定律（*law of Malus*）。當$\theta = 0$或π時，透射光之強度最大；當$\theta = \pi/2$或$3\pi/2$時，其強度為零，因此當轉動檢偏振鏡時，透射波之強度在0及I_0間變動，例如，此可作為決定一橫波是否偏振之法，對未偏振波或圓偏振波而言，並未觀測到強度之變動；對橢圓偏振波而言，透射波在一最大值與一最小值間變動，這二個極值是當檢偏振鏡平行於橢圓之較大軸或較小軸所得到的。

參閱“偏振片（*Polaroid sheet*）”條。

【檢驗器】（Test set）

由多種工具，用特種連繫，以測驗或處理特種之電氣裝置。

【濕度】（Humidity）

大氣中所含水蒸氣多少的程度，稱為濕度。空氣中水氣常隨空氣流動，又依氣溫高、低、晴、雨等因素而增減，所以常有空氣乾燥或潮濕的現象。有風時，蒸發的水蒸氣被風吹走，但沒有風時，蒸發的水蒸氣即停留於附近的空氣中，濕度就增高。

表示空氣濕度的方法有二種，即絕對濕度和相對濕度。以單位體積

的空氣中所含水蒸氣的質量表之，稱爲絕對濕度（*absolute humidity*）。因單位體積中所能含有水氣的質量與溫度有關，絕對濕度未涉及這種關係，故非完善的定義。較適當的定義是相對濕度（*relative humidity*），乃是在單位體積的空氣中實際含有水蒸氣的質量m，對在相同溫度達到飽和狀態時單位體積應含水蒸氣的質量M之比。此比率近似等於單位體積的空氣中，水蒸氣所呈現的分壓力p，對當爲飽和狀態時水蒸氣所施壓力p之比。水蒸氣所施的實際壓力，等於當水蒸氣冷卻，溫度降至露點（*dew-point*）時，水氣所施的壓力，露點是在單位體積的空氣中，所含水蒸氣的量恰能使空氣呈飽和狀態時的溫度。相對濕度以在露點時水蒸氣的壓力，對在空氣的溫度時水蒸氣的最大壓力（即飽和蒸汽壓力）之比。

【濕度之日變化】（Daily variation of humidity）

空氣中所含的水蒸氣量卽使相同，由於氣溫的高低不同，濕度也會發生變化。氣溫上升，卽濕度降低；氣溫降低，卽濕度上升。

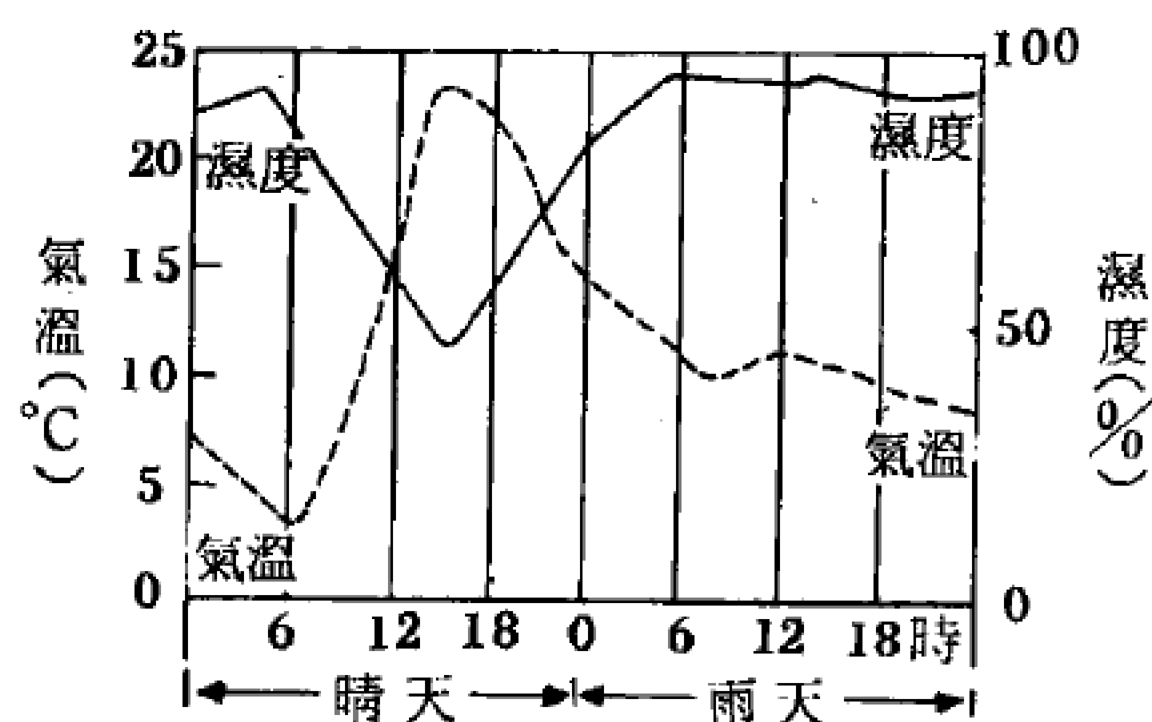


圖 17 — 20

氣溫和濕度的日變化

晴天的濕度日變化，通常和氣溫的日變化相反。這是空氣中的水蒸氣量不因氣溫的高低而有多少變化，但水蒸氣飽和量卽隨氣溫的高低而有很大的變化。因此，濕度以黎明時刻爲最高。氣溫最高時（14時前後）成爲最低，不過雨天時整天都很高。如圖 17—20所示。

【濕度之年變化】（Yearly variation of humidity）

濕度之年變化並不像濕度的日變化，以氣溫的高低爲原因。空氣中水蒸氣量的差異才是主要原因。

【濕度計】(Hygrometer)

測定空氣的相對濕度或絕對濕度的儀器稱爲濕度計(*hygrometer*),種類很多,有乾濕球濕度計、露點濕度計、自記濕度計、毛髮濕度計、通風乾濕計等,玆分述如下:

1.乾濕球濕度計——又叫乾濕計。需放在距地面1.2～1.5*m*的高處,求濕度時,要看二溫度計的度數,求出差,再查對濕度表。從乾濕計上所讀取的"濕球的示度"(濕球所在的溫度計所指示的溫度)和"乾球和濕球示度的差"可求出濕度的表。

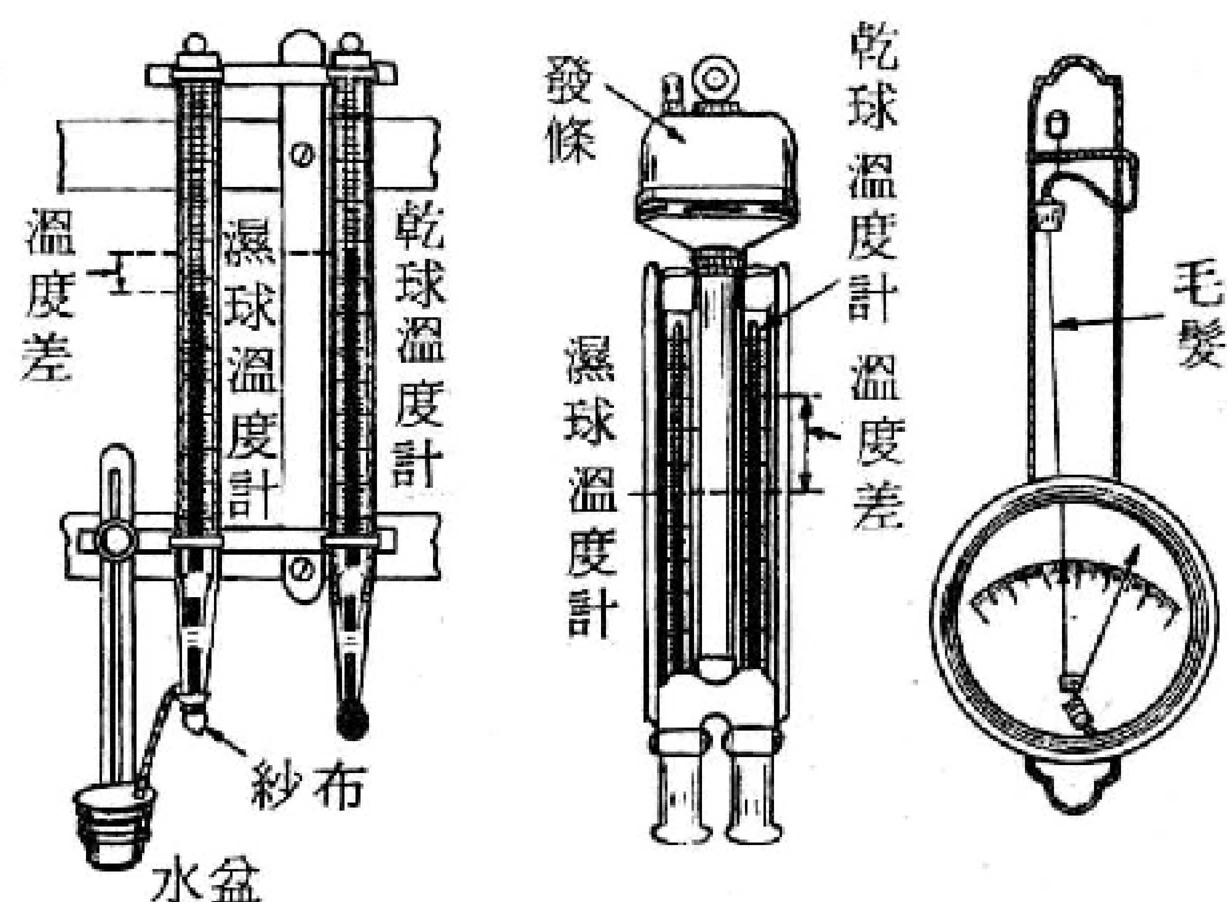
如圖17—21(*a*)所示,在溫度計的球部用白紗布包裹,伸出一布條而連在水盆裏,即由毛細作用使紗布經常保持潮濕,此即濕球。另一沒有用紗布包裹的,叫做乾球(乾球即表示氣溫的溫度)。如果空氣中的水蒸氣量沒飽和,濕球的表面便不斷地蒸發水汽,並奪取汽化熱,因此濕球所表示的溫度都比乾球所示爲低。

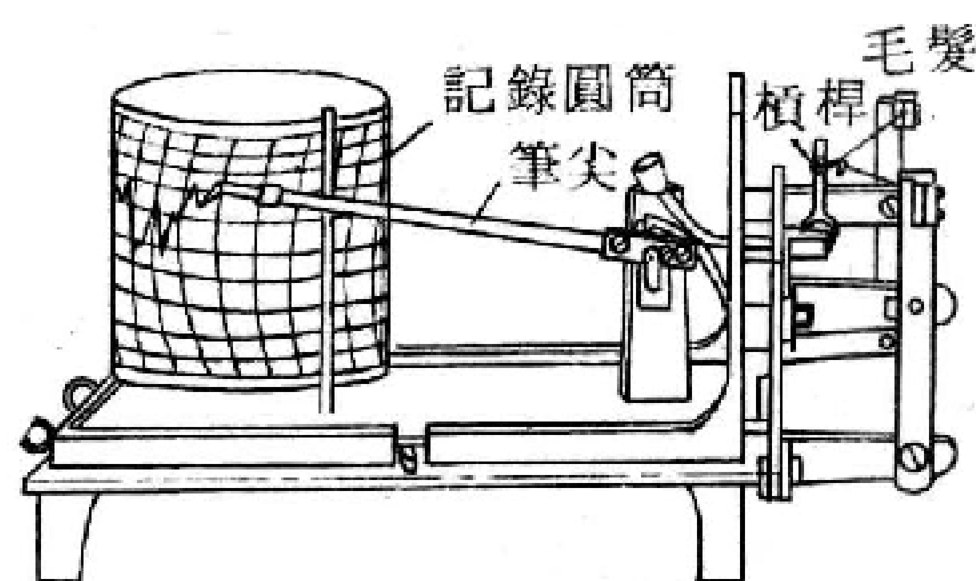
空氣越乾燥(即濕度越低),蒸發越旺盛,便一直奪取汽化熱,使濕球所示的溫度降低,而和乾球的差越大。相反地,當空氣中的水蒸氣量呈飽和狀態時,水便不再蒸發,也不會奪取汽化熱,濕球和乾球所示的溫度,自然就會相等。

2.通風乾濕計——又叫吸氣乾濕計。如圖17—21(*b*)所示,當乾濕球濕度計的通風不佳時,濕球的周圍很快就呈現飽和狀態而呈不靈現象,所以用馬達或發條旋動螺槳,送給球部一定的風力,藉以改良並提高靈敏度,此種濕度計叫做通風乾濕計。

3.毛髮濕度計——測量人髮的膨縮而決定空氣中相對濕度的儀器。利用毛髮以酒精等物洗淨而除去油脂時,在濕度高時能伸長,濕度低時能縮短的性質來測量濕度。如圖17—21(*c*)所示,以毛髮十根爲一束裝置在容器中,利用槓桿原理,擴大它的伸縮,藉指針直接在刻度板上指出濕度。這種濕度計使用很方便,但不十分正確。

4. 自記濕度計——利用毛髮的伸縮性質，連接槓桿及指針（筆尖），使濕度的變化轉變爲筆尖的上下運動，並記





(a)乾濕球濕度計 (b)通風乾濕計 (c)毛髮濕度計 (d)自記濕度計

圖 17 — 21

錄在以時鐘的裝置，能旋轉的圓筒上的記錄紙，如此可自動地記載連續的濕度變化。如圖 17 — 21(d)所示。

5. 露點濕度計——改良測定露點儀器而成的濕度計。

【濕電池】（Wet cell ）

池內之電解質爲液體之電池。

【濕態臨界】（Wet criticality ）

在有冷卻劑的狀況下，反應器達到臨界狀態。

【燭光】（Candle power ）

燭光是光度的單位。一燭光依一標準蠟燭所發之光而定，標準蠟燭是英國所定的燭光，依直徑 2.2 厘米用鯨油製成的蠟燭，每小時燃燒鯨油 7.78 克。根據這標準蠟燭，就可以定出各種光源的光度。

【環月者太空船】（Lunar orbiter ）

環月者一號是於 1966 年八月一日送入軌道，這是一連串計劃中的一個，其目的在攝取月球近距離的照片，並送回地球及測量其他有關月球的資料。環月者二號於同年十一月六日發射，以繼續第一號研究月球工作。這些由它們送回的資料及照片，無疑的對登陸月球有所貢獻，同

時也增闢了人類知識的領域。

【環式線圈】(Toroidal coil)

環式線圈爲由一導線均勻繞在一圓環上或環形(*doughnut-shaped*)之表面上而製成，如圖 17 — 22 所示。令 N 爲圈數，各圈間隔均勻，I 爲沿線圈的電流，從對稱關係，磁場的力線係與圓環共一圓心的同心圓，取圓環內一圓周 L 爲積分第一路線，於是磁環積分爲

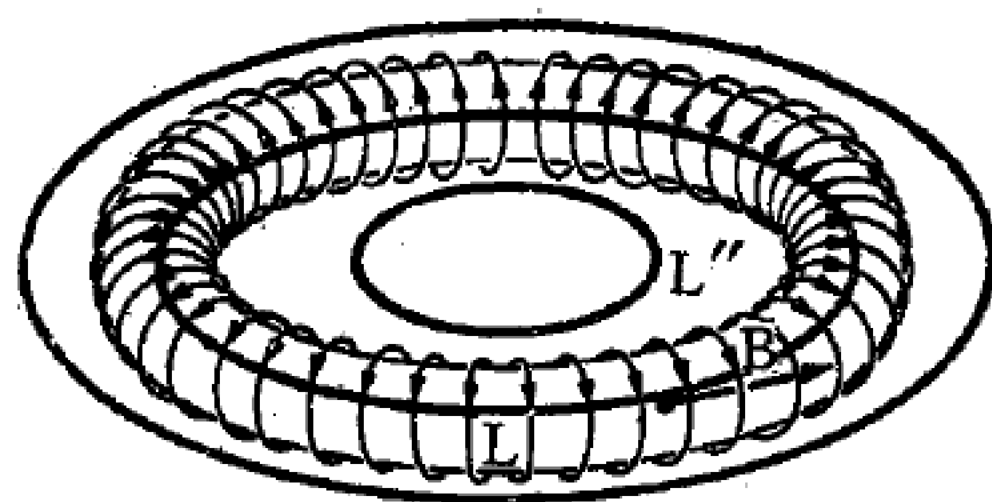


圖 17 — 22　環式線圈

$$\Lambda_B = BL$$

因路線 L 與環繞圓環上所有線圈相環結，故穿過圓環的總電流爲 NI，於是應用安培定律得：

$$BL = \mu_0 NI \qquad \text{或} \qquad B = \mu_0 \frac{NI}{L}$$

如果圓環截面的半徑小於圓環的半徑，我們可以假定 L 對環內的所有路線實際上爲相同，令

$$n = N/L$$

爲單位長度的線圈數，則可斷定圓環內的磁場爲一均勻磁場，其值爲一常數，其值爲

$$B = \mu_0 nI$$

至於在圓環外方的任何路線，例如 L' 或 L''，與路線相環結的總電流爲零，故得 $B = 0$。換言之，一環式線圈的磁場係全部局限於圓環的內部，這一情形僅能應用於圓環上的線圈都是密繞的環式線圈。

【環形電樞】(Ring armature)

電機的電樞是環狀的。

【環狀天線】(Loop antenna)

用導線繞成的環狀線圈，用來代替接收天線，有時還代替發射天線。環狀天線具有方向作用，當所收電臺處在環圈的平面內時，可獲得最

大的接收。而沿與環圈垂直的方向則不能接收。與此相似，環狀發射天線將大部分能量在自己的平面內發射出去，而不在垂直方向內發射能量。接收用的天線環通常都做得很小，因此電磁場對它的作用，就弱於對接收天線的作用。所以用環狀天線進行接收時，就要求接收機的靈敏度比用普通天線接收時要高一些。

【環狀天線平面】(Plane of loop antenna)

環狀天線具有方向性，其平面有如線餅、圓形、八角形或長方形不等。

【環狀星雲】(Loop nebula)

在恆星世界中，遍佈各處的二或三種最特殊天體中之一。此雲在星座內的名字是劍魚座第三十號 (30 *doradus*)，在其中心處有一個爲數 100 或更多的超巨星集團，它的伸展不規則，直徑大約200 光年，這個巨大的銀河集團在亮度的本質上約爲武仙座大球狀星團的 400 倍。

【環流】(Circulation)

沿流動中一閉合曲線 C，速度 $\vec{v}$ 的切線分量 v_s 沿路徑積分：

$$\Gamma = \oint v_s\, ds = \oint \vec{v} \cdot \vec{ds}$$

稱爲 C 的環流。若流動的領域爲單連，則依照司托克士 (*Stokes*) 定理變成：

$$\Gamma = \int (\nabla \times \vec{v}) \cdot \vec{dA}$$

卽環流變成對以 C 爲邊緣的曲面所取 $\vec{v}$ 的旋度 $\nabla \times \vec{v}$ 的面積分。換言之，對 C 的環流等於穿過 C 的渦旋管強度之和。在完美流體時，對隨流體齊動的任何閉合曲線所取的環流和時間無關或保持常數，這稱爲克耳文 (*Kelvin*) 的環流定理，而和赫爾姆霍茲 (*Helmholtz*) 的渦旋定理在本質上相同。

【環流量】(Circulation)

對任一向量場而言，環繞著一假想曲線的環流量定義爲：向量沿那

曲線的平均切線分量與圈子周界長的乘積。如圖 17 — 23 所示，即

環流量＝平均切線分量×周界長

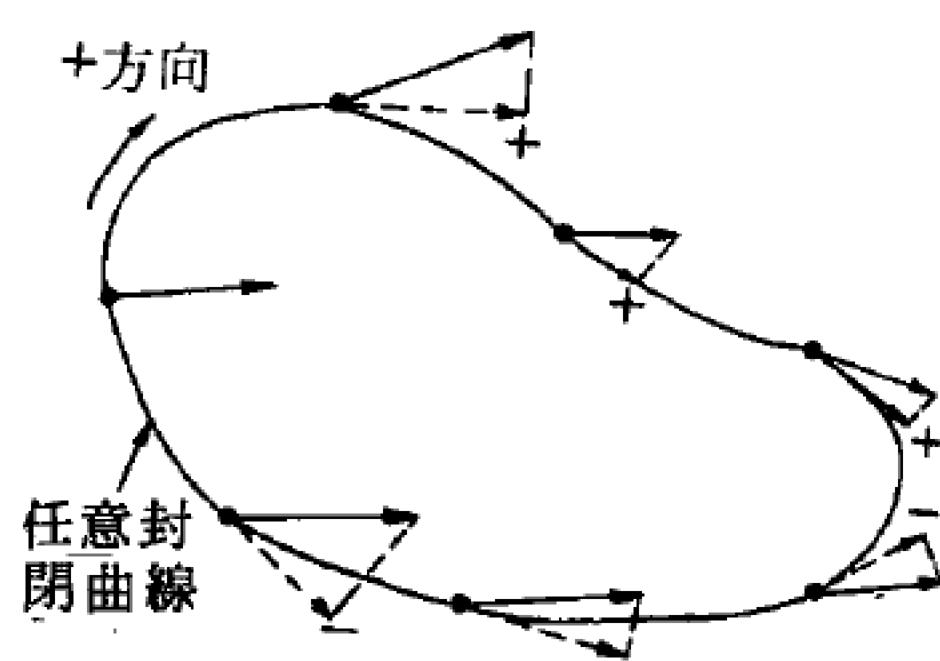


圖 17 — 23
向量場沿著一條封閉曲線之環流量。

【環護電容器】(Guard-ring condenser)

一種可變電容器，其動片預防受撞擊之一種安全裝置。

【瞬時力】(Instantaneous force)

作用力施於物體之瞬時量。

【瞬時功率】(Instantaneous power)

在實用上，作功的速率往往比作功的總量來得重要。功率 (*power*) 爲作功的時率 (*time-rate*)，即單位時間所作之功稱爲功率。若在 dt 時間內一力作了 dW 的功，則我們定義此力在這一時刻作功的瞬時功率爲

$$P=\frac{dW}{dt}=\frac{\vec{F}\cdot d\vec{r}}{dt}=\vec{F}\cdot\frac{d\vec{r}}{dt}=\vec{F}\cdot\vec{v}$$

即瞬時功率爲質點之速度 $\vec{v}$ 與作用力 $\vec{F}$ 的純量積。若以作功的總和除以總時間區間 t，則得此時間區間內之平均功率 $<P>$，即

$$<P>=\frac{W}{t}$$

在工程學上，功率的觀念是極重要的。當一工程師設計一機器時，他所關心的常是此機器單位時間內能作多少功，而不是它總共能作多少功。

【瞬時加速度】(Instantaneous acceleration)

爲 Δt 趨於零時，物體速度變化率的極限值，即

$$\Delta\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

瞬時加速度是由切線加速度 $\vec{a}_t$ 及法線加速度 $\vec{a}_n$ 兩分向量所合成。任何快慢不一之運動都有 $\vec{a}_t$ ，直線運動時 $\Delta\vec{a} = \vec{a}_t$ 。任何曲線運動，都有 $\vec{a}_n$ ，等速曲線運動時 $\Delta\vec{a} = \vec{a}_n$ 。$\vec{a}_n$ 之值由質點在該處速度之大小及軌跡曲度而定，如圖 17 — 24 所示。等速運動時 $a_t = 0$ ，直線運動時 $a_n = 0$ 。

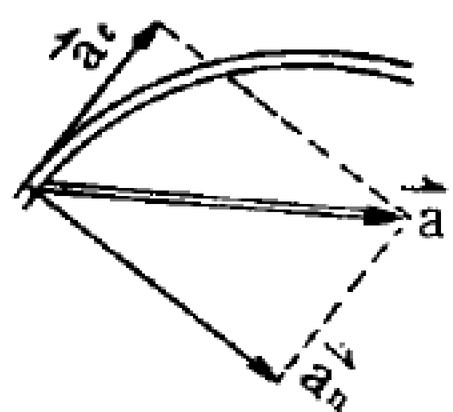


圖 17 — 24

【瞬時角加速度】(Instantaneous angular acceleration)

為 Δt 趨近於零時，角速度變化率的極限值：

$$\vec{\alpha} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

因剛體內所有質點之角速度 $\vec{\omega}$ 均相同，因而可知各質點之角加速度 $\vec{\alpha}$ 亦必相同，故 $\vec{\alpha}$ 如同 $\vec{\omega}$ ，也是整個物體的特性。角加速度的因次為時間倒數的平方（ T^{-2} ），其常用之單位為弧度／秒² 或轉／秒² 。

【瞬時角速率】(Instantaneous angular rate)

定義為 Δt 趨近 0 時，角變化率的極限值：

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{\theta}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\theta}}{dt}$$

所有固定於剛體內而垂直於轉動軸的徑向線（ *radial lines* ），在同一時間內所轉的角度均相同，故體內每質點對該軸的角速率 ω 均相同。因此 ω 是整個物體的特性。角速率的因次為時間的倒數（ T^{-1} ），其常用之單位為弧度/秒或轉/秒 。

轉動的角度以弧度為單位來表示，ϕ 即等於弧長 S 除以半徑 r ，則距離為 r 的點，所走過的弧長為 $S = r\phi$ ，速度即為 $v = r\omega$ 。

角速度與轉角一樣是從整個木塊的觀點來看的。對非剛體的轉動來說，情形就不是那麼簡單了，各個部分不僅僅是速率不同，角速度亦不同

。非剛體在轉動的時候，形狀也跟著改變。

【瞬時速度】(Instantaneous velocity)

運動體在某一極短時間內的速度，稱爲瞬時速度。$\Delta\vec{s}/\Delta t$ 所趨近之極限值爲在 t 時之速度。如以 $\vec{v}$ 表瞬時速度，則

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$$

$\vec{v}$ 之方向，即 Δt 趨近於零時，$\Delta\vec{s}$ 之極限方向。此極限方向爲質點的路徑在某點的切線方向。

當質點運動時，在若干不同的時間區間量得之平均速度並非不變，此質點係以變速度運動。因此須決定任意時刻質點的速度，即瞬時速度。

【瞬時轉動軸】(Instantaneous axis of rotation)

當車輪沿地面轉動時，在任何時刻，輪上各點均以其與地面接觸之點爲中心而旋轉。故通過此接觸點與輪軸平行之直線可視爲瞬時轉動軸。

【瞬發中子】(Prompt neutron)

緊接著核分裂後所放出的中子。分裂反應後遲延了一段時間才放出的中子謂之緩發中子。瞬發中子佔分裂中子總數的99%以上。

【瞬發輻射】(Prompt radiation)

由原始分裂或熔合過程所產生的輻射。此與分裂產物，其衰變鏈以及其他後來的反應所產生的輻射不同。

【瞬發臨界狀態】(Prompt criticality)

分裂鏈式反應只由瞬發中子維持，而無緩發中子的幫忙時的臨界狀態。

【瞬間風速】(Instantaneous velocity of wind)

普通所說的風速，是指平均風速而言。與此相對者，指某一瞬間的

風速，叫做瞬間風速，以便區別。強風來臨時，最大瞬間風速多少 *m* 的說法，是表示瞬間風速的最大者。

【瞬變電流】(Transient current)

導體（線）兩端具有不同電位，電子移動瞬時即因平衡而靜止的現象。

【矯頑磁力】(Coercive force)

使磁體失去磁性所需要的、相反方向的外磁場強度，叫做矯頑磁力。不同的鐵磁性物質，去磁時所需要的矯頑磁力也是不同的，因此在製造變壓器鐵芯及電磁鐵時，就要選擇矯頑磁力特別小的材料。因爲矯頑磁力越大，剩磁或殘磁現象越顯著。

【矯頑磁性】(Coercivity)

根據分子磁假說，鐵棒的磁性是由其中的分子磁共同作用所致。分子磁在未經磁化的鐵塊內本係毫無規則地雜處在一起，但於受到外在磁場的作用時，便按該磁場的強弱而或多或少的整列起來。當外在磁場消失後，其分子磁場又將因熱運動而再度取得不規則的狀態。這種分子磁場的不規則性，有一部分仍會保持整列的狀態，因而使得該鐵塊仍有微弱的磁性，此種現象稱爲矯頑磁性。以鋼的矯頑磁性爲最大，所以一般都利用鋼來製造永久磁鐵。

【磷 - 32】(Phosphorus - 32)

有一種特別需用放射性同位素治療的疾病是眞性紅血球增多病（ *polycythemia vera* ）。這是一種慢性的、自然演化的隱襲性疾病。它的紅血球的數目不正常的增加、血液總體積的急增、脾臟腫大、出血的傾向等多種病症，而且它有時也會有白血病（ *leukemia* ）的症狀。

直到現在，對於這種疾病還是沒有令人非常滿意的治療方法，目前仍舊沒有眞正治療痊癒的例子，但是磷 - 32 的使用卻能使症狀消除數個月甚至數年，大大地延長了患者的壽命。用磷 - 32（使用鈉和放射

性磷酸鹽的溶液）作醫療處理並不是去破壞那些過剩的紅血球，而只是降低它們的形成速率以達到治療的目的。

磷－32僅發射純粹的β粒子，這些粒子在人體的器官內平均僅有2毫米的穿透距離。磷－32的半衰期是14.3天，當它由靜脈注入即迅速地與循環血液相混合，而慢慢地聚集在那些利用磷酸鹽作新陳代謝的器官。如此，使得造血器官聚集了相當數量的磷－32（約兩倍於其他的器官）。

這些被隔開了的生血細胞對於輻射相當敏感，所謂生血細胞是指那些會自動生產血球的細胞，因此也就是受攻擊的對象。輻射劑量的使用要比診斷所用的大好幾倍，而且對於一切反應結果，還需配以仔細的觀察，看是否已達到預期的現象。

磷離子也是血液組成的正式分子之一，在很多種類的瘤腫病裏，磷在這些生有瘤腫的器官的聚集量往往數倍於其周圍的健全組織。磷的此類分佈提供了我們一個方法，就是可用它來區分癌細胞和其周圍健全的細胞。由於磷－32僅發射β質點而不發射γ射線，且由於β質點的穿透力很弱，所以計數器的使用必須緊貼著這些嫌疑的組織。這種情形限制了磷－32的使用僅用於皮膚癌或一些外暴露的惡性瘤。

例如，有一些腦瘤很難明確地與其周圍健全的組織分辨出來。處於這種情況時，病人可在手術前幾小時由靜脈注射含磷－32的磷酸鹽，一具很小且靈敏的β粒子計數探針就在要動手術的區域往返移動偵測，使外科醫生得以獲悉這些瘤腫的準確位置。

【磷光】（Phosphorescence）

亦即燐光。某些固體（例如鈣的硫化物）暴露在光線中，尤其是暴露在紫外光之後，能在一段相當長的時間中連續放出光線，這種光稱為磷光。根據原子理論，這因為固體中電子被激發到介穩狀態所致。

物質吸收光能後先激發其電子至一激發狀態，此狀態中的電子損失

少量能量，而陷入晶體的缺陷或活化體（ *activator* ）中。電子在缺陷或活化體的介穩狀態中可放射光而躍遷至基態，但這種躍遷因選擇律的禁制，故有很長的半衰期。介穩狀態的電子亦可能因熱而再被激發至物質的原激發狀態而放射磷光，此種磷光的強度即爲溫度的函數。

參閱“燐光（ *Phosphoresence* ）”條。

【磷光體】（ **Phosphor** ）

一種發光的物質；一種受輻射刺激即能發光的物質，謂之磷光體。很多天然與人工的磷光體，當外來光照射（如紫外光、紅光或可見光等），或原子質點（電子或離子）能量輻射時，此物質即放射光線。

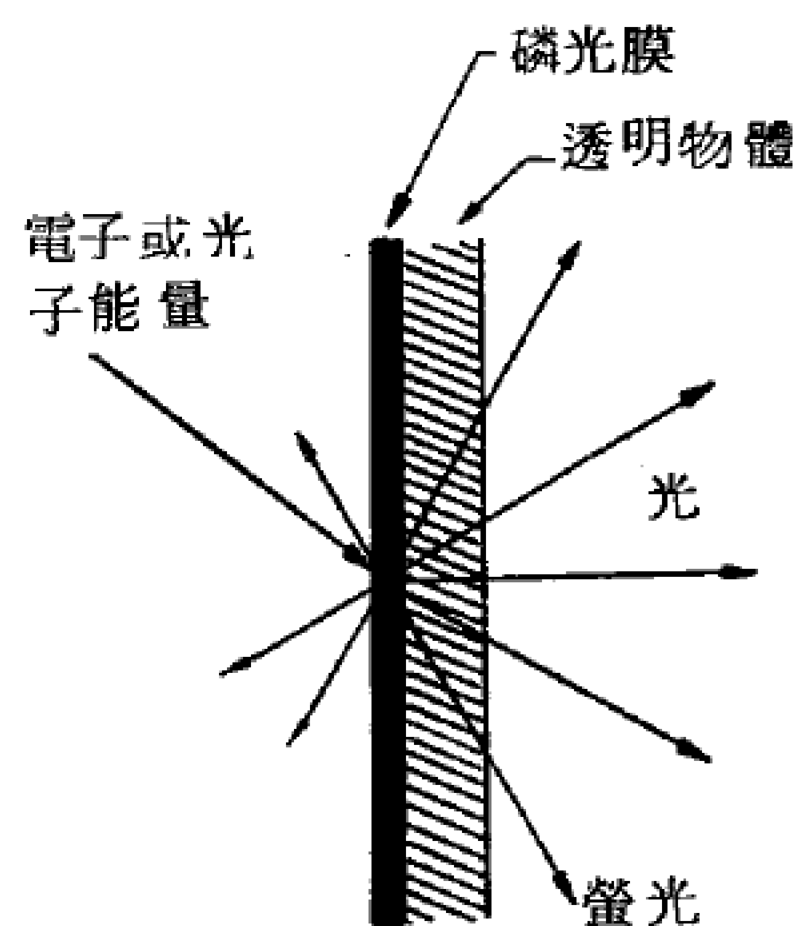


圖 17 — 25　磷光膜之受激

電視顯像管（ *picture tube* ）因管面內側塗此磷光體，電子槍射線能量作用磷光而轉變爲可見光。普通用於室內照明之螢光管（ *fluorescent tube* ），管內之磷光物質受放電之紫外光作用產生淡藍色螢光。此現象在電子光電裝置中極爲重要，圖 17 — 25 表示磷光膜受激光線輻射之情形。

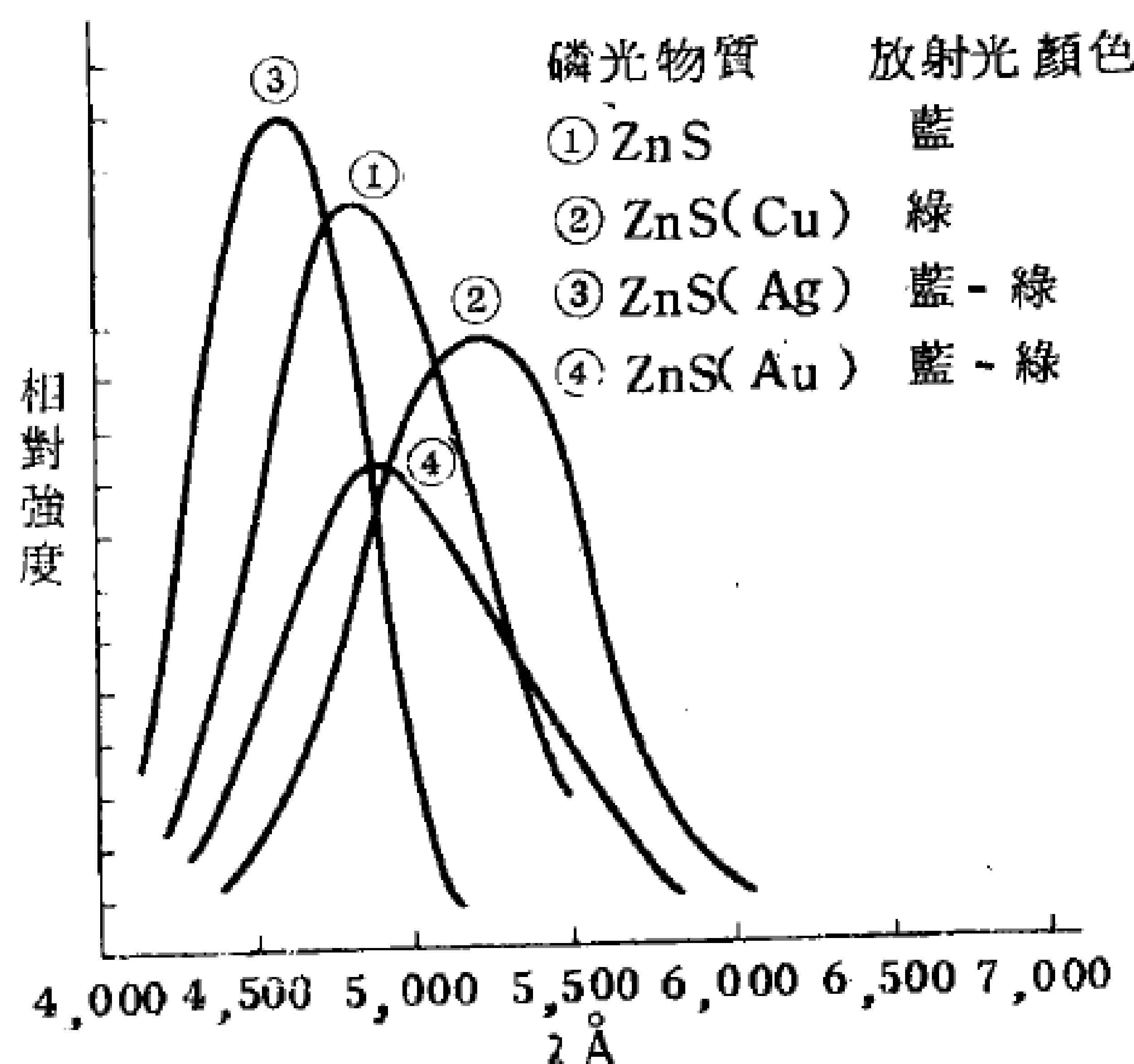


圖 17 — 26　磷光體硫化鋅之光色與強度

所謂螢光是指磷光體受激時間在 10^{-8} 秒內放光。而磷光是受激時間 10^{-8} 秒後的發光者。此時間 10^{-8} 秒之差即表示原子受激狀態之壽命（ *life time* ）。磷光持續時間通常在數秒至數分鐘

。

硫化鋅（ZnS）爲磷光物質，普通應用於電子管中，純硫化鋅呈藍色螢光，硫化鋅加銅呈綠色螢光，硫化鋅加金或銀呈藍－綠色螢光，如圖 17—26 所示。

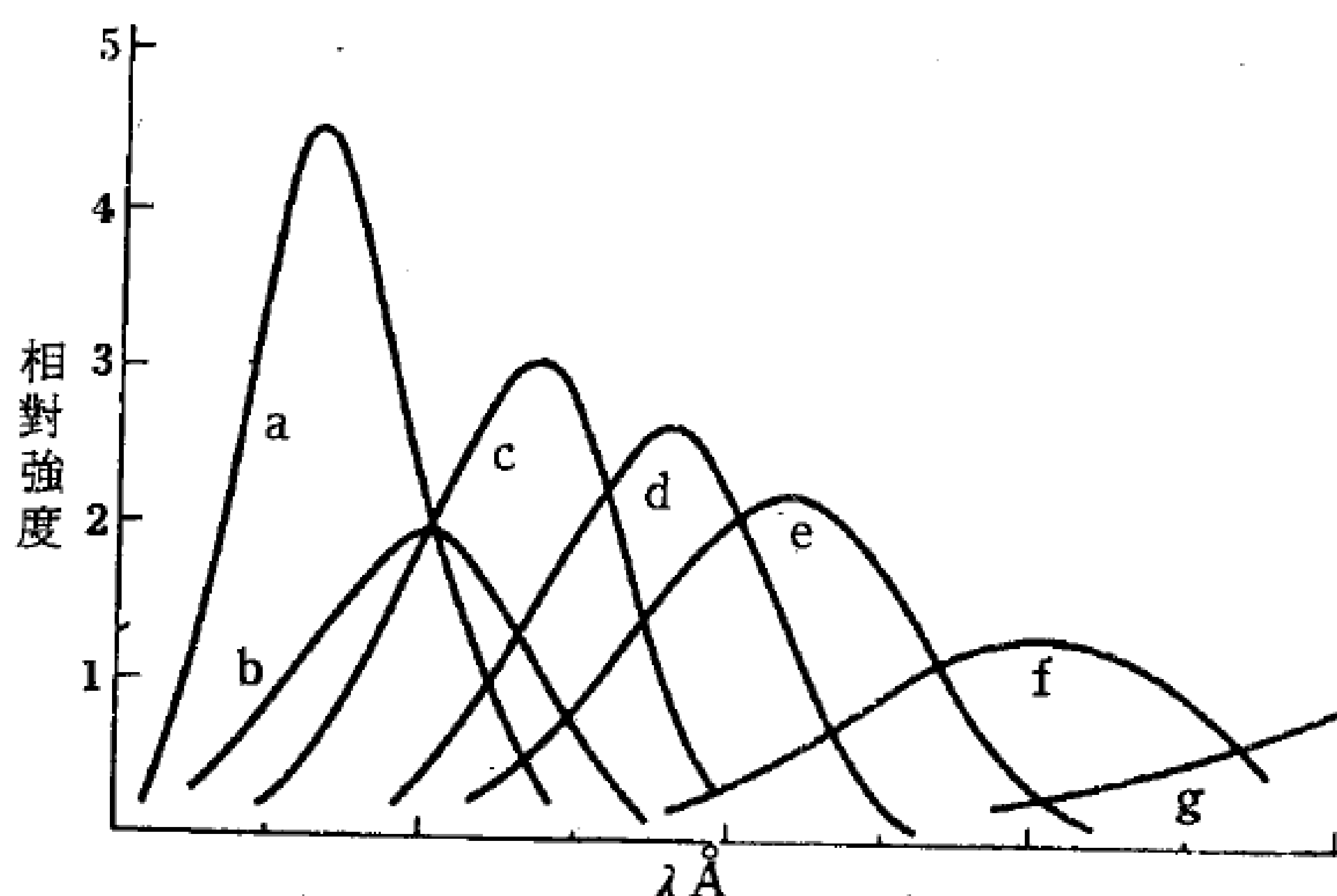


圖 17 — 27
硫化鋅和硫化鎘加銀百分比的光色與強度

圖 17—27 爲硫化鋅（ZnS）與硫化鎘（CdS）加銀百分比，螢光色澤列表如下：

混合物（*composition*）		光色（*observed color*）
a	$ZnSAg$ (0.008%)	藍
b	ZnS (80%) CdS (20%) Ag (0.01%)	藍 - 綠
c	ZnS (60%) CdS (40%) Ag (0.01%)	淡綠
d	ZnS (50%) CdS (50%) Ag (0.01%)	黃 - 綠
e	ZnS (40%) CdS (60%) Ag (0.01%)	黃 - 紅
f	ZnS (20%) CdS (80%) Ag (0.01%)	淡紅
g	$CdSAg$ (0.02%)	紅

【總角動量】（Total angular momentum）

量子力學軌道角動量及自旋角動量的耦合（*coupling*），而形成總角動量 $\vec{J}$。換言之，電子造成的總磁矩，在磁場方向的分量爲

$$(\vec{\mu_J})_z = g\mu_B m_j$$

$$\left(j = l \pm \frac{1}{2} \text{ , } m_j = \pm j \text{ , } \pm j - 1 \text{ , } \cdots\cdots \pm 1, 0 \right)$$

蘭德 g 因數（*Lande g factor*），爲介乎 g_e 與 g_s 之間的一個因數。

如果沒有自旋和軌道的相互作用，以及任何外力矩，自旋角動量和軌道角動量向量 $\vec{L}$ 和 $\vec{S}$ 的大小和其 Z 方向分量就會有量子數 l，m_l，m_s 所限定的固定值。但實際上由於有 $\vec{L}$ 所產生的磁場，其取向是由 $\vec{L}$ 決定的，以致在自旋磁矩 $\vec{S}$ 上產生一力矩。這樣的一種力矩不會改變向量 $\vec{S}$ 的大小。同時，作用在 $\vec{L}$ 上的反力矩也不會改變它的大小。但這力矩確實在 $\vec{L}$ 和 $\vec{S}$ 之間發生一關聯，使得每一向量的取向都依賴另一向量的取向而決定。這樣一來便使得兩向量中的任何一個均不會有固定的 Z 分量，理由是因爲兩者都繞向量 $\vec{J}$ 轉進，而 $\vec{J}$ 向量則繞 $\vec{L}$ 軸轉進（如圖 17 — 28）

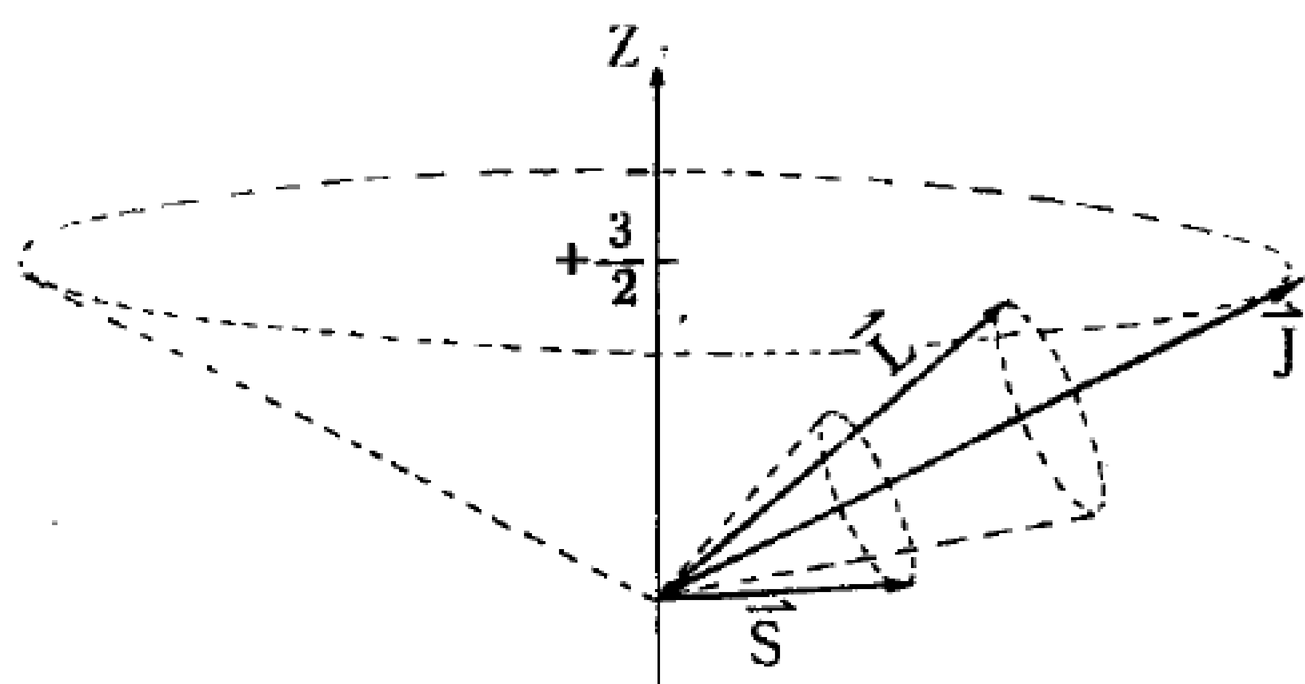


圖 17 — 28
L 和 S 向量繞 J 向量轉進，而 J 向量則繞 Z 軸轉進。

$$\vec{J}=\vec{L}+\vec{S}$$

此二向量之和向量 $\vec{J}$ 叫做總角動量向量。

依照古典物理學的說法，如果沒有外力矩作用在原子上，總角動量向量的值和它的三個分量都將固定。但這個在量子力學裏只有部分正確，主要是因爲這個學說可以預計 J 的大小和 Z 分力都是固定的，而它的 X 和 Y 分量卻沒有一定的值。我們不妨利用研究軌道角動量向量性質有關的技術，就可以顯示總角動量向量的大小和 Z 分量是由兩個量子數 j 和 m_j 所限定。依照方程式

$$J=\sqrt{j(j+1)}\hbar$$

$$J_z=m_j\hbar$$

$$m_j=-j, -j+1, \cdots, j-1, j$$

當 $l \neq 0$ 時，$j = l + \frac{1}{2}$，$l - \frac{1}{2}$ 可滿足方程式。當 $l = 0$，$L = 0$ 時，j 唯一的可能值是 $j = \frac{1}{2}$，$l = 0$。

【總相對性能量】（Total relativistic energy）

假設在相對論力學內，運動方程式為

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d}{dt}\ mv$$

成立。若 $v \ll c$，則 $m = m_0$，故 $F = m_0 \frac{dv}{dt} = m_0 a$，這是牛頓定律的形式，故以上的假設為恰當而且合理。

若以力 F 施於一靜止質量為 m_0 的質點，從靜止的狀態沿 x 軸移動 x_f 的距離，速度變為 v，則所作的功為：

$$T = \int_0^{x_f} F dx = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

為合乎牛頓力學的能量守恆律，在 v 不太小時，T 可以被解釋為動能的增力。T 可以寫成

$$T(v) = E(v) - E(0)$$

在這裏

$$E(v) = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = m(v)c^2$$

因為 T 為能量，故必須將 $E(v)$ 和 $E(0)$ 解釋為能量，也就是說 $E(v)$ 為質點在速度 v 時所具有的能量，而 $E(0)$ 為質點靜止時所具有的能量。因此，在相對論力學裏，質點在靜止時亦被看作具有能量 $m_0 c^2$，此稱為靜止能量（*rest energy*）。因為

$$E(v) = E(0) + T(v)$$

故 $E(v)$ 為質點所具有的靜止能量再加上由外力而得來的動能 $T(v)$。$E(v)$ 稱為總相對性能量。即

$$E(v) = mc^2 = T(v) + m_0 c^2$$

假若質點還具有位能U，則

$$E = U + mc^2 = T + U + m_0c^2$$

若力是保守力，則E是一個運動常量。

【總機械能】(Total mechanical energy)

質點之位能與動能的和稱爲質點的總機械能。即

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + U(x)$$

【總橫截面】(Total cross section)

散射和吸收過程對一束X射線在通過物質時所引起的衰減現象，而在每平方厘米面積上每秒通過的$\overline{I}$入射量子束中，每原子每秒所散射或吸收的量子的總平均數$\overline{A}$，可以計算而求得如下：

$$\overline{A} = \sigma_{S_a}\overline{I} + \sigma_{PE_a}\overline{I} + \sigma_{PR_a}\overline{I} = \sigma_a\overline{I}$$

這裏 $$\sigma_a \equiv \sigma_{S_a} + \sigma_{PE_a} + \sigma_{PR_a}$$

量σ_a叫做每原子的總截面，它說明有多少部分的入射X射線束是和一已知原子起了衰減的相互作用。圖17—29示^{82}Pb原子的截面σ_{S_a}，σ_{PE_a}，σ_{PR_a}和σ_a，三個過程中分別對σ_a發生最大影響的能量範圍大致如下：

光電效應：$h\nu < 5\times10^5 ev$

散射：$5\times10^5 ev < h\nu < 5\times10^6 ev$

電子偶之產生：$5\times10^6 ev < h\nu$

因爲這些過程的截面對Z的不同從變性，所以對於低原子數的各原子，支配σ_a的能量範圍就大不相同。像^{13}Al這些能量範圍的近似值便是：

光電效應：$h\nu < 5\times10^4 eV$

散射：$5\times10^4 ev < h\nu < 1\times10^7 eV$

電子偶的產生：$1\times10^7 ev < h\nu$

現在利用每原子的總截面σ_a來計算一束X射線在通過厚1厘米，每立方厘米含有N個原子的一張金屬箔時所發生的總衰減。就圖17—30所示的情況可知線束的通量（或強度，它是每秒鐘通過一平方厘米的量

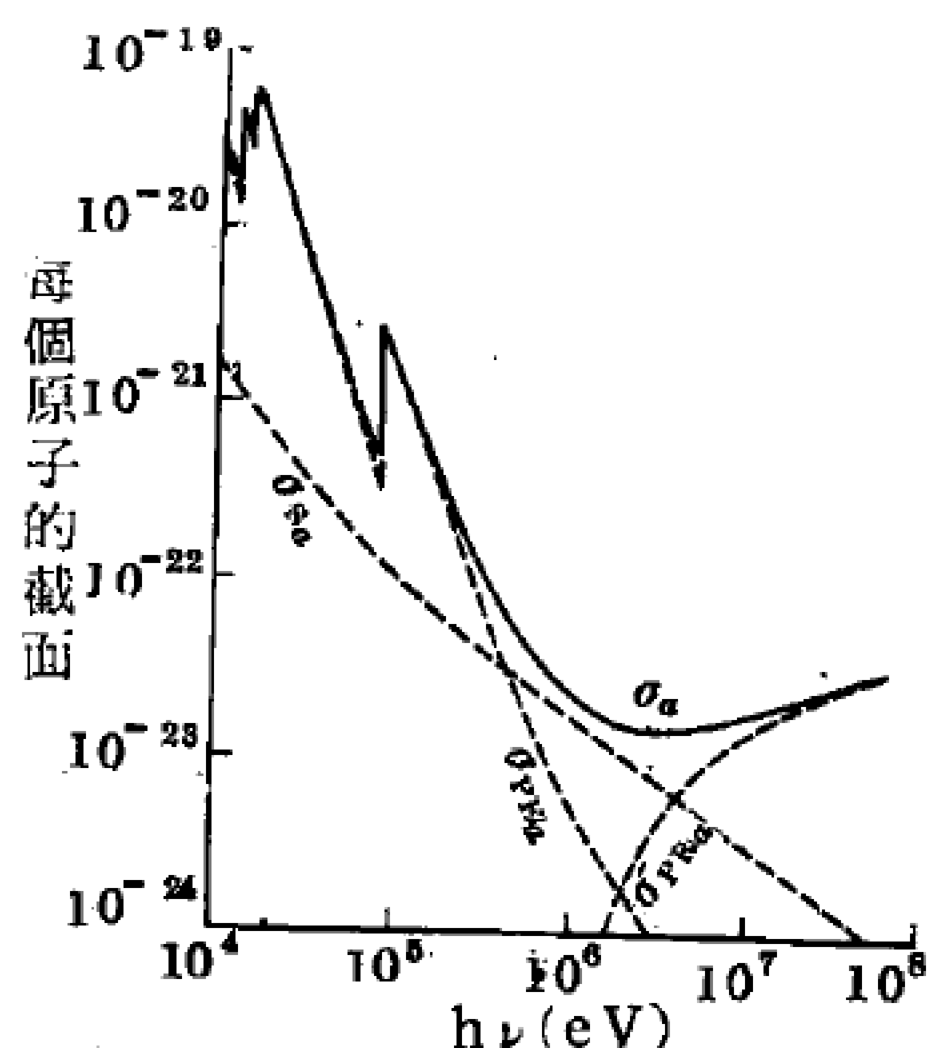


圖 17 — 29
每一鉛原子所發生的散射截面、光電截面、電子偶截面和總截面。

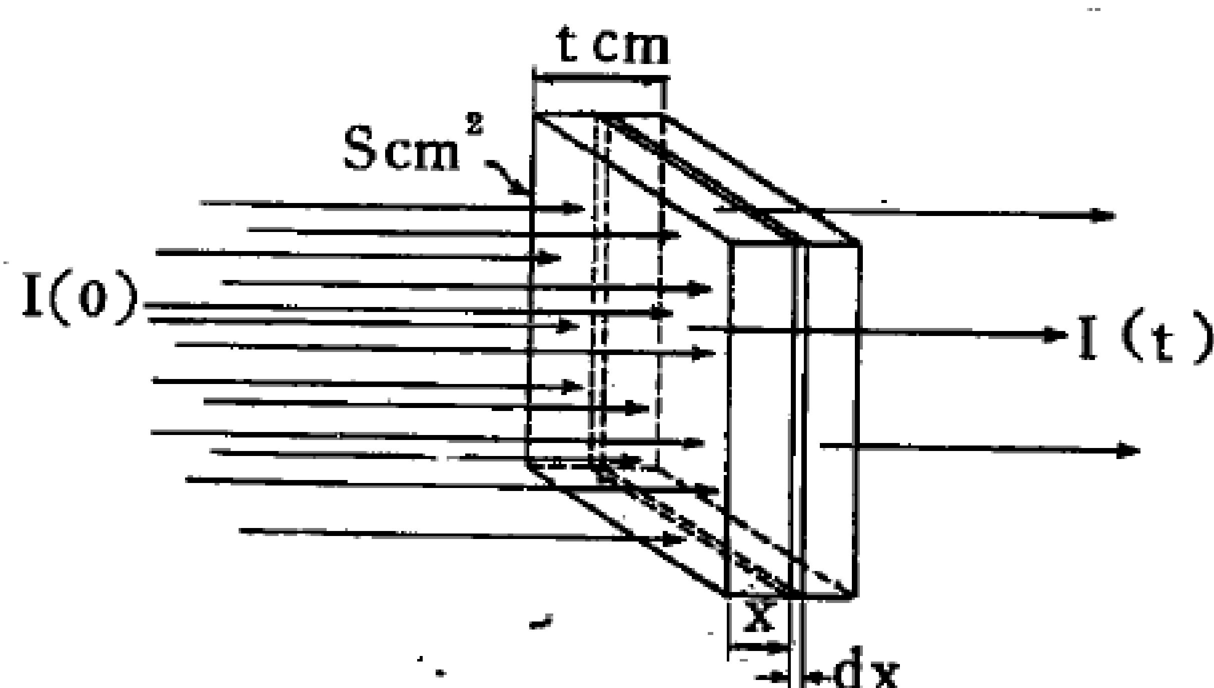


圖 17 — 30　通過一箔的一束 X 射線

子平均數）是隨著線束貫穿金屬箔而減少。在貫穿 x 厘米後稱其通量爲 $\bar{I}(x)$，這時候 $\bar{I}(0)$ 是入射通量，而 $\bar{I}(t)$ 則是從那箔出現的衰減後通量。即

$$\bar{I}(t)=\bar{I}(0)\,e^{-\sigma_a N t}$$

受衰減線束的通量隨著 t 的增加而以指數形式減少，叫做衰減係數的量，$\sigma_a N$ 具有厘米$^{-1}$ 的單位，是爲衰減線束 e^{-1} 倍所需厚度的倒數，這厚度叫做衰減長度 Λ，亦即

$$\Lambda=1/\sigma_a N$$

自然，衰減係數和總截面具有同一的能量從變性。

【總壓力】(Total compression)

指垂直作用於整個受力表面的壓力和。所用的單位有公克重、公斤重及達因（ *dyne* ）重等。

【縱向、橫向都卜勒效應】(Longitudinal , transversal Doppler effect)

把相對論中的動量 - 能量變換方程式應用到光子的行爲，可以說明羅倫茲變換方程式（ *Lorentz transformation equation* ）的普遍性。

光源在某坐標系中是靜止的，我們把這坐標系稱爲撇號坐標系。假定我們在這坐標系中觀察光子，光的頻率是 ν'，而其進行方向與 x' 軸

的交角是 θ' 。光子的動量和能量可以用下面的方程式表示：

$$p'_x = \frac{h\nu'}{c} \cos\theta'$$

$$p'_y = \frac{h\nu'}{c} \sin\theta'$$

$$p'_z = 0$$

及
$$E' = h\nu'$$

讓我們利用動量能量變換方程式找尋在實驗室坐標系中所測到的光子的動量和能量。在實驗室中，光子的頻率是 ν ，其運動的方向與 x 軸的夾角是 θ ，因此

$$p_x = \frac{h\nu}{c} \cos\theta = \gamma_0 \left(\frac{h\nu'}{c} \cos\theta' + V \frac{h\nu'}{c^2} \right)$$

$$p_y = \frac{h\nu}{c} \sin\theta = \frac{h\nu'}{c} \sin\theta'$$

$$p_z = 0$$

$$E = h\nu = \gamma_0 \left(h\nu' + V \frac{h\nu'}{c} \cos\theta' \right)$$

把上列方程式簡化，得到

$$\nu\cos\theta = \gamma_0\nu' \left(\cos\theta' + V/c \right) \qquad (1)$$

$$\nu\sin\theta = \nu'\sin\theta'$$

及
$$\nu = \gamma_0\nu' \left(1 + \frac{V}{c} \cos\theta' \right) \qquad (2)$$

以（2）式除（1）式得到

$$\cos\theta = \frac{\cos\theta' + V/c}{1 + (V/c)\cos\theta'} \qquad (3)$$

事實上從速度相加公式所推得的像差的相對論表達方程式，與此方程式完全一樣。在這裏我們卻得到另一結果，即在兩不同慣性坐標系中觀察光線，不僅會觀察到不同的方向，而且測量出的頻率亦將不同。在光源

的固有坐標系中所測量到的頻率將和固有觀察者所測到的頻率相同（不論它們在什麼位置）。但在實驗室坐標系中，頻率將因光與光源運動方向的交角而定，這就是都卜勒效應。這效應最初是在聲學（*acoustics*）中發現的，在聲學中這效應是由於聲源或觀察者相對於聲的介質（空氣）的運動所引起的，光在眞空中雖然沒有偏愛的介質，但是我們依然找到了相對論性的都卜勒效應，這是由於時間膨脹（*time dilation*）及羅倫茲收縮（*Lorentz contraction*）引起的。

倘若在實驗室中看到光與其運動的交角是$\frac{\pi}{2}$，則$\theta=\frac{\pi}{2}$，從（3）式，可知$\cos\theta'=-V/c$。把這結果代入（2）式，我們得到

$$\gamma_0\nu=\nu'$$

這稱爲橫向都卜勒效應，因爲觀察的結果是在運動的橫向方面獲得的。

倘若看到光的方向與運動的方向一致，則$\theta=0$。從（3）式可知$\theta'=0$及

$$\nu=\nu'\left(\frac{1+V/c}{1-V/c}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

亦即光遷移到藍色方面去。當$\theta'=\pi$，（4）式中的正負號互換，光便遷移到紅色方面去，這稱爲縱向都卜勒效應。

利用縱向都卜勒效應，我們可以測定遙遠的雙星（*double star*）轉動的速率，因爲正當其中一星行向地球時，另一星則行離地球，來自雙星中的氫原子的光譜源會由於兩種不同的運動形式而引起了不同的都卜勒遷移。從加闊了的光譜線，我們可以間接地決定轉動的速率。

雖然孤立的原子發射出的光是近於單色的，但自光譜儀觀察一些熱的氣態原子，我們會發覺光譜線散開了，這是由於一部分原子行向，而另一部分行離光譜儀引起了都卜勒遷移所形成的，這稱爲光譜線的都卜勒加闊（*Doppler broadening*）。

【縱向放大率】（Longitudinal magnification）

物體縱向增加的長度與原來長度之比。即

$$m' = \frac{l'}{l}$$

等於橫向放大率m的平方。

【縱色像差】(Longitudinal chromatic aberration)

一種測量色像差的方法，等於紅光與紫光焦點的距離。透鏡色像差稱爲縱色像差，因此量係沿主軸所量取者故。

【縱坐標】(Ordinate)

記錄兩個變量的關係值時，橫軸記錄的是“原因”，縱軸記錄的是“結果”。

【縱波】(Longitudinal wave)

當振動在物體內傳播時，如果物體中各部分振動的方向和振動傳播(波)的方向一致的，這種波就叫做縱波。

如水平懸掛一個彈簧，用手在彈簧一頭水平地有節奏地推壓彈簧，就可以看到彈簧上有疏密相間的振動，並沿著彈簧傳播，這時彈簧各部分振動的方向和波的傳播方向是一致的。這種波是因爲介質被展伸而變疏或被壓縮而變密的運動狀態逐漸傳遞所成，所以也叫疏密波或壓縮波。

聲波就是縱波，空氣振動的方向和聲波傳播的方向是一致的。聲波通常依靠空氣來傳播，但並不是必須依靠空氣才能傳播，其他的氣體、液體、固體同樣也能傳播聲波。聲波的形狀，也不是固定不變的，它常隨著振源介質以及接受者的運動狀況而改變。

【縱波光學聲子】(Longitudinal optical phonons)

將晶格點上原子的振盪運動量子化，稱激發的單位能量爲聲子，對每個波數k依晶體的結構有許多不同的頻率相對應。以二原子的初基晶胞爲例，對每一極化方式其頻率對波數的關係可分爲兩枝，屬於高頻率一枝的聲子稱爲光學聲子，低頻率者稱聲學聲子。三維空間的晶格如每

—初基晶胞中有 p 個原子，其頻率則可分為 $3p$ 枝，其中有三枝屬於聲學聲子，其餘均是光學聲子，在波數趨於零時，它們的頻率各趨於一常數。晶胞內不同的原子作異向運動，恰似正負電荷的粒子在電場中的情形，若晶格點上的原子沿波進行的方向運動，這種聲子稱為縱波光學聲子。

【繆勒散射】(Møller scattering)

繆勒於1932年研究電子與電子的彈性散射時，他計算出電子在各種偏振態時的微分散射截面。1935年印人巴布哈（*Bhabha*）將繆勒的結果推廣到電子與正子的彈性散射，稱為巴布哈散射（*Bhabha scattering*）。1957年賓舍(*Bincer*)根據繆勒的結果研究，得到決定電子流中 $\vec{\sigma}\cdot\vec{P}$ 的平均值的方法，乃是觀察當靶內的電子被磁場偏振時的散射截面，磁場的方向可以反轉（$\vec{\sigma}$ 是電子的自旋向量，$\vec{P}$ 是它的動量。）

【聯心力】(Central force)

若兩質點間的交互作用力的方向係沿著兩質點的連線，且其大小只與兩質點間的距離有關，則我們稱此力為聯心力或稱有心力。

聯心力所造成的質點運動軌跡是一個橢圓。當一個物體在聯心力的作用之下運動時，其對力心之角動量為一常數；反之，當一物體對某定點之角動量為常數時，其所受之力必為聯心力。

在自然界中有很多聯心力，例如地球繞太陽運轉所受之力為聯心力，其方向恆指向太陽之中心，而地球相對於太陽之角動量為一常數；氫原子中的電子所受之力也是聯心力（由電子與原子核之間的靜電引力而來），其方向指向原子核，而電子對原子核之角動量為常數。

在有很多電子的原子中，每個電子所受之力並不完全是聯心力，因為每一個電子除了受原子核的聯心力作用之外，與其他電子之間也有作用存在。然而大致說起來，每個電子所受的平均作用力可認為是聯心力

。此外，在有些原子核中，我們可以大致假定其質子與中子都是在平均聯心力的作用之下運動。

【聲子】(Phonon)

在固態物理，一般將晶格振動或彈性波的能量量子化簡式爲聲子，這種量子化的過程與簡諧運動的量子化很相似，正好像電磁波被量子化後成爲光子一樣，而且所有可以應用在光子上的理論，幾乎都可以應用在聲子上。

球形或近似球形的核並不顯示轉動能階，但能顯示振動能階，這與分子的振動情形相似。這種核內集合運動的能量亦被量子化。其能量的最小單位叫做聲子，這種振動的狀態也帶有二單位的角動量，這樣的聲子稱爲四極聲子，其宇稱爲正。在偶數 - 偶數核，如變形甚微，會有第一激發態爲 $j^P = 2^+$，這是一個聲子的振動態；而在變形甚大的原子核才有 $j^P = 2^+$ 的轉動態。兩個以上的四極聲子形成較高的激發態。八極型的振動帶有三單位的角動量，宇稱爲負，即激發態爲 $j^P = 3^-$。

所有波動場都有粒子現象，雖然在很多情形下這種粒子現象不易用普通方法看出。聲波的粒子現象一般說來就很不顯著。每一聽得見的聲波可以有好幾百萬聲子，所以我們完全不能覺察其斷續性。其實聲子也像任何其他場量子一樣，總以整數出現，原子核可以放出 0，1，2，3…數目的聲子而失去其本身能量。

彈性波能量之可以被量子化，有下述兩點有力的實驗證明：

1.實驗發現固體在絕對溫度趨近於零時，其熱容量也趨近於零。而此現象唯有考慮晶格振動的能量爲量子化者才能圓滿解釋，這是最早有聲子的證明。

2. X 射線及中子射束經過晶體呈非彈性散射。仔細測量經過 X 射線或中子射束的能量及動量的增減，可以決定散射過程相當於吸收或產生一個或多個聲子的過程。

【聲子之平均自由路徑】（Phonon mean free path）

$$k=\frac{1}{3}cvA$$

式中 k 是熱傳導率，c 是熱容，v 是在固體中聲音的平均速度，A 是聲子的平均自由路徑。

【聲子頻率隙】（Phonon frequency gap）

假設有由兩個不同原子 M_1 及 M_2 構成的簡單晶體，其聲子頻率在波向量空間中可分爲二枝，頻率較高的一枝稱爲光頻枝，較低的一枝稱爲聲頻枝。在第一布里元區邊緣上，兩枝的頻率差稱爲聲子頻率隙。根據虎克定律，解出其與原子質量的關係如圖17—31所示。

圖 17 — 31

【聲之反射】（Reflection of sound）

聲音遇到牆壁時，一如光線之遇到鏡面，也會反射。聲音垂直遇牆，便循相反方向折回，回聲現象即如此形成。倘若我們向一牆壁垂直呼喊，而三秒鐘後聲音折返，這便表示聲音所經過的路程爲 3 乘 340 米，或 1,000 米左右，故觀察者距牆約爲 500 米。如欲將接連兩次的聲音分辨開來，則其到達耳朵之時間，必須相隔 0.1 秒以上才行；是以造成回聲之牆壁至少須離開呼喊者 $\frac{340\times0.1}{2}=17$ 米之遙。如離牆太近，則發出之聲音便會被折回之聲音所干擾，因而造成餘音之現象。

圖 17 — 32　凹面鏡之聲音反射

倘將聲音傳到某一點上所循之方向，稱之爲聲線（*line of sound*），如此聲音之斜向投射就在一牆壁上造成之反射，其反射現象與光在平面上反射一樣。聲音平面反射之定律如下：

1. 入射線及反射線與法線皆位於同一平面之內。

2. 聲音反射時，入射角等於反射角。

聲音射向曲面時，上述之反射定律亦可適用。如圖17—32所示，爲聲音向一凹面鏡之情形。在此只要假設接觸平面E已將凹鏡取代，那麼在聲線觸及凹鏡的一點上，作一垂直於接觸平面之直線，便得該點之法線。此處所有平行於鏡軸AB之聲線，經反射後必定集聚於一點F，是即所謂焦點。反之，所有自焦點F發出之聲線經反射後必平行於鏡軸AB。如圖 17—33所示，先於一木製或金屬聲音反射鏡之焦點F_1處，置一響聲極微之小錶，而在相當距離處另置一等軸之反射鏡，使與前者相對而立，於是在第二反射鏡之焦點F_2處，便可清晰地聽到原先無法聞及之輕微錶聲。此即所謂之“遠距耳語”。

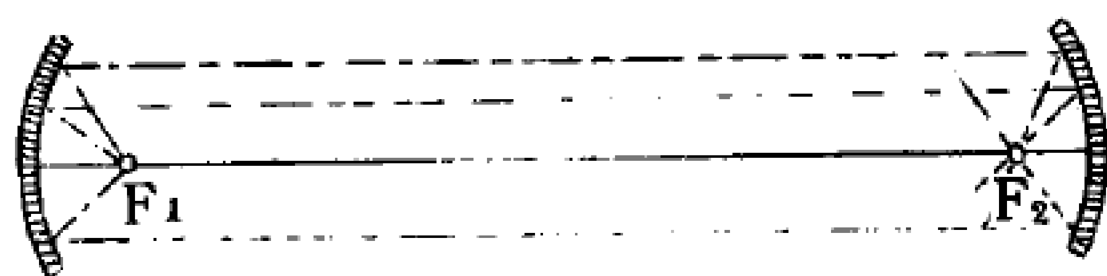


圖 17—33
相對而立之二反鏡，可以說明遠距耳語之原理

參閱“回聲（*Echo*）”條。

【聲之共鳴】（Rosonance of sound）

發聲體遇到頻率相同的聲波傳來，雖然沒有其他的原因也能自行振動，這種現象叫做共鳴。因發聲體受到同一週期的聲波時，聲波就使它振動，逐漸地增大振幅，遂能成聲。例如琵琶、胡琴等物下面的空箱，就是做共鳴用的。

【聲之吸收】（Absorption of sound）

在講堂、音樂廳或錄音室等地方，如原聲的反射太多，會因多次的回聲與原聲重合起來，反而使原聲音不易聽清楚。因此需要在天花板或

牆壁，使用能吸收聲音的材料，來適當地壓制回聲。當聲波碰到柔軟的或有很多細縫的物體時，即會被消弱很多。利用這種性質，常在牆壁上裝設能吸收聲波的隔音板、窗簾或在壁中填充石綿等來調節音響。

【聲之傳遞】(Transmission of sound)

能聽到聲音，是由於物體振動，使其周圍的物質（通常是空氣）產生疏的部分與密的部分，這些部分普通以空氣爲介質，一層接一層地傳遞出去，而達到我們的耳朵。能傳遞聲音的東西，除了空氣之外像水等液體、金屬等固體，凡受壓縮後具有恢復原狀的性質的物質，通常也會傳聲音。

水具有特佳之傳音性，當我們潛水而附近適有輪船經過時，便可聽見其槳葉打水之聲。海軍之水下聲音信號，即係利用水之優良傳音性而發明；此外還有一種所謂“回聲法”之海深量測法，也是利用水之此種性質。其法係自船底發出一種聲音信號，復經海底反射回至船底，被裝在船底的接收裝置所收得，即可據以測出海深。

固體亦能傳音，我們倘將一耳靠在一根長鐵管之一端，便可清晰地聽見他端時錶之滴答響聲，此聲倘經由空氣傳播則是無法聽到的。如以鉛管行之，則傳音便會完全失靈。於此可見傳送聲音時，亦有所謂良導體及不良導體之分。凡物體之彈性愈大者，愈易傳音。鉛是沒有彈性的，所以不能傳音。一般言之，舉凡特別疏鬆，內有空氣間隙，缺乏彈性之物體，如鬆土、沙、炭渣、乾草、稻草等等，都具有滅音作用的。又如紡織物及棉花亦爲不良傳音體，因之裝製不透聲之門或牆壁時，均可加以利用。

我們試於遠距離觀察打樁入土之往復錘擊，即可發現耳聞每一錘擊之聲音，恆較目見之動作要落後些。又如在同一遠距離發生雷雨時，雷聲入耳恆較閃電入目要遲若干秒鐘。由此可見，聲音之傳送恆較光之傳播爲慢。

【聲反饋】(Acoustic feedback)

揚聲器所產生的聲振盪，對供給該揚聲器的放大器所發生的反饋作用，謂之聲反饋。聲反饋發生得最多的情況是，揚聲器聲振盪對揚聲器賴以工作的(經過放大器)傳聲器所發生的反饋作用。和電的反饋一樣，如果聲反饋足夠強，且按需要相位而作用，則在系統中便會發生等幅振盪，同時有一定音調的聲音(或嚎聲)發生。如果聲反饋不足以維持等幅振盪，它仍然會引起聲音的失眞(尖叫聲、嗥叫聲等)。

由於放大器內電子管的顫噪效應，聲反饋可能在聲振盪不是作用於傳聲器，而是作用於放大器本身的時候發生。爲了消除聲反饋，必須保護放大器的電子管(特別是連接在放大器輸入端的傳聲器)，使不受揚聲器所產生的聲振盪的影響。

【聲拍】(Beats)

振動次數相差不多的兩個發聲體同時振動，所發的聲因爲互相干涉，遂成了時強時弱的聲音，這種現象就叫做聲拍，又稱拍音。其定理爲單位時間裏所生的拍數 b，就等於兩個聲波振動次數 m、n 的差數，即 $b=m-n$。

【聲波】(Sound wave)

聲音是由物體振動而發生的，由振動的物體，把這種振動傳到周圍的空氣裏，使空氣發生一種稀疏稠密的波動，如圖17—34所示。這種波動是以發聲的物體做中心，向四方傳播的，就是通常所謂的聲波。因空氣振動的方向和波的傳播方向互相一致，所以聲波是縱波。此種波動的頻率必須在音頻範圍內，人耳能感受的範圍是70次/秒到15,000次/秒。

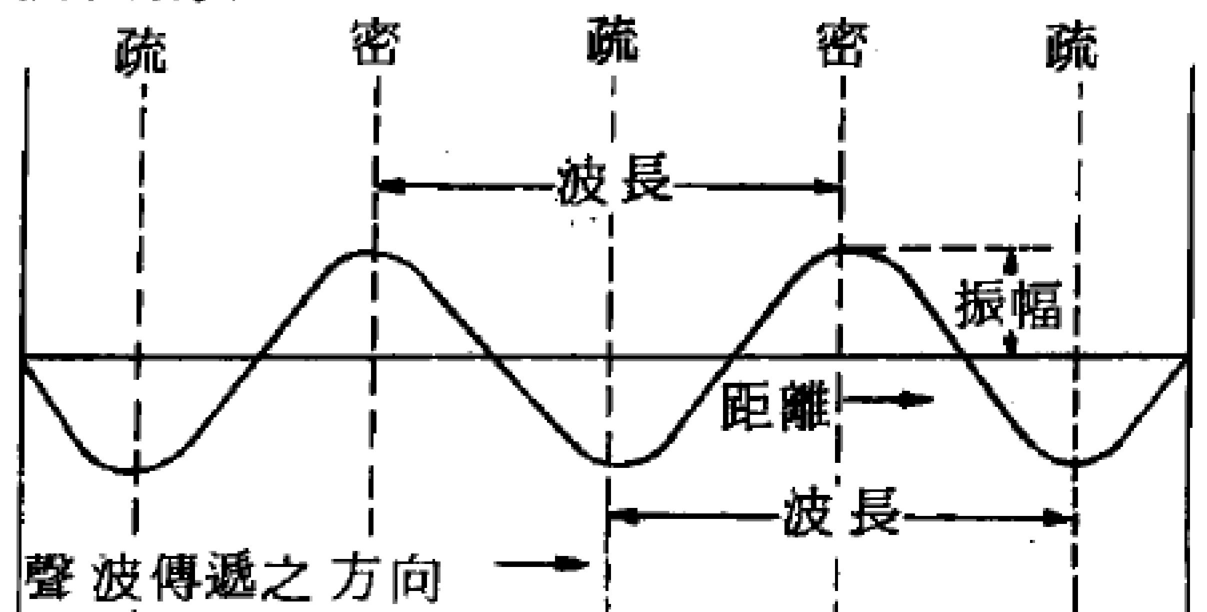


圖17—34　聲波用橫波表示

振動發聲的物體，叫做發聲體。傳播聲波的物質，叫做介質。傳聲的介質，最常見的要算空氣了。固體和液體也能傳聲，例如把耳朵貼在地上，可以聽到遠處的腳音，把頭浸在池裏，可以聽到水裏其他地方的聲音。但是在眞空裏，我們聽不到聲音，因爲眞空是不能傳聲的。聲波在固體介質內傳聲最快，液體介質次之，在氣體介質內傳聲最慢。在固體內其傳播速率爲

$$v=\sqrt{\frac{Y}{\rho_s}}$$

式中Y爲楊格係數（*Young's modulus*），ρ_s爲固體的密度。在液體內，其傳播速率爲

$$v=\sqrt{\frac{B}{\rho_e}}$$

式中B爲液體之體積彈性係數（*bulk modulus*），ρ_e爲液體之密度。

在溫度爲$0°C$，大氣壓力爲$76cm$水銀柱的空氣中，聲波的傳播速率爲331米/秒，溫度每升降$1°C$，其聲速就增減0.6米/秒。除了介質的種類和溫度會影響聲波的傳播速率以外，濕度也是它的因子之一。含一定量水蒸氣的空氣比乾燥的空氣輕，其分子間的密度也比較小，聲波通過時，能量消耗較小，聲的傳播距離就比較遠，也比較明晰。因此在陰天，空氣比較濕潤，所以傳聲的效果就好些。但在大霧彌漫的時候，在密雨不休的日子裏，聲音的傳播都比晴天壞，一方面因爲空氣裏水蒸氣的含量已經超過了一定的限度，另一方面粗大的水滴起了散射、反射聲音的作用，就大大降低了聲音的傳播效果。

聲波不是電磁波，要把聲波的振動變爲電流的變動後，才能變成電磁能的形式。但是在計算聲波波長時，其方程式卻和計算電磁波波長的方程式相同，即：

$$\lambda=\frac{v}{f}$$

式中 v 爲聲速，f 爲頻率，λ 爲波長。

利用聲波在空氣中通信早已淘汰，抗戰初期的高射礮對空測距即利用聽音儀。由於計算儀的不精確，只能供預行警報之用，對高射礮瞄準很少有幫助。不過那時飛機速度慢，有時還能發揮一下威力，目前則唯雷達是賴了。

由於雷達的電波不能在水中傳遞，於是利用聲波的“聲納”(*sonar*)，便成了海洋水面下的雷達。聲納是利用聲頻振盪器產生聲頻電能，經一“聲能轉換器”(*transducer*)把電能轉變爲機械振動以後，激動水中分子以傳遞信號，或藉檢測水中聲波以偵測目標物的儀器，爲現代海軍及外洋航輪重要設備之一。對於魚群的搜索也有其特殊的功能。

自超聲波技術發展以後，聲納已放棄聲頻頻段，而利用更高的射頻及微波波段的脈波技術。其傳聲距離更遠，而且頻段既高更不易爲敵艦所發現，是即所謂超聲波。

超聲波只是指那高於人耳所能聽到聲波頻率的聲波，人類所能聽到的聲波頻率的最高極限是15,000次/秒，但有些動物，如鳥類、昆蟲卻能聽到大過10倍人類所能聽到的聲波。這種聲波的振盪很大，它能使小球、乒乓球停在空中，使水振盪面沸騰，使溼沙很堅固的凝結起來。它的應用很廣，醫院治療應用，農業方面的殺滅害蟲和散佈病菌的昆蟲，以及海軍用超聲波汽笛加熱使霧變爲雨，以消除伸手不見五指的大霧，和工業上的應用等；雖然這種聲波的用處已經很廣，可是它更偉大的應用還在發掘中。

【聲波之干涉】(Interference of sound wave)

聲波的干涉和水波的干涉情形相同，當同頻率的兩聲波同時在空氣中傳播，空氣受二波重疊的作用而振動。如果各波的密部與疏部各同時抵達，而抵銷原有波，那麼空氣恢復平靜而使原聲變得很低甚或再也聽

不清原來聲音，如密部與疏部各自碰到同樣的密部與疏部即加強了波動，使聲音特別強大，如圖17— 35所示。

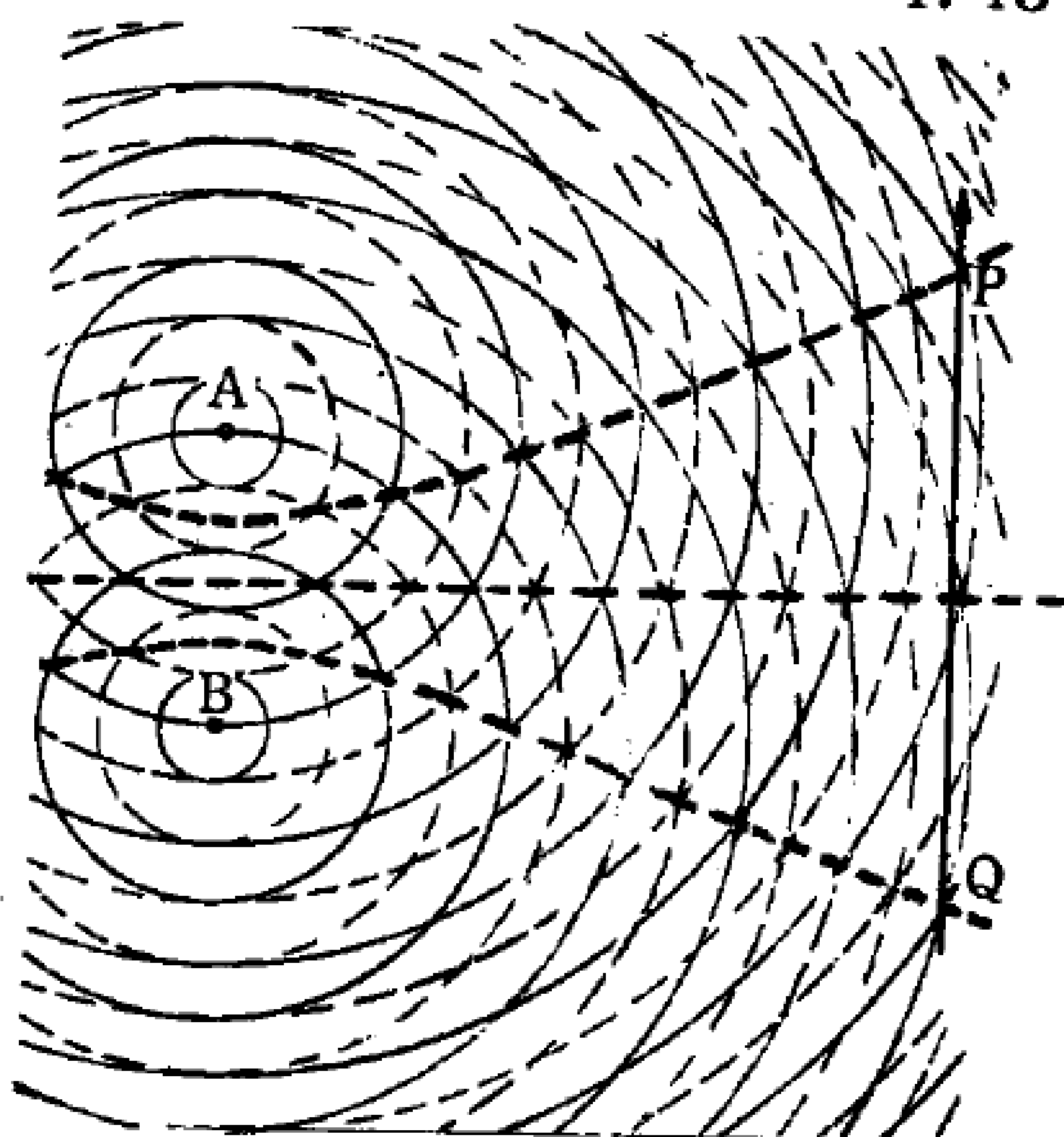


圖 17 — 35　聲波之干涉

【聲波之反射】(Reflection of sound wave)

聲波從一個介質傳到另一個介質時，就在達到另一個介質的境界那裏折回過來，好似從那點再發出一個聲波一般，這種現象叫做聲波的反射。聲波之入射波和反射波是在同一個平面上，入射角和反射角相等。

站在深山裏高呼的時候，這個聲波被前面的高山折回，往往自己還能聽到，這種聲音叫做回聲。回聲的現象很多，由空氣層疏密不同，也可發生回聲，這種回聲現象，往往在深夜裏可以聽到。

【聲波之折射】(Refraction of sound wave)

假如聲波在不均勻的介質中傳播時，會改變前進的方向，此種現象，稱爲聲波的折射。原因是由於聲波在不均勻的介質中進行時，會引起速度的變化，影響其進行的方向。

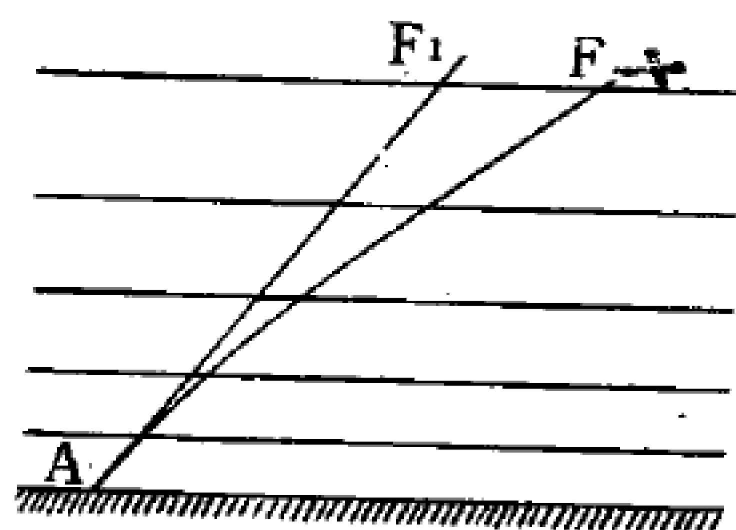


圖 17 — 36
聲射線在空氣層中之折射現象

同一聲源各點的速率不同時，聲波進行的方向，常向速率小的一方偏斜。使各點聲速發生變化的原因，可能由於傳聲介質的性質不同或介質本身發生速率變化所致。在自然界中，如高空和地面間的風速大小不同，或氣溫的變化，而影響高空和地面間空氣密度大小不同時，均可產生聲波折射的現

象。

如圖17－36所示，例如一條由F(飛機)發出之聲射線從高空抵達地面時，係由聲疏介質進入聲密介質，會在空氣層中各分界面上折向法線一邊，故當其抵達位於A處之觀察者時，已變爲一條拱形曲線了。在此情形下，觀察者往往會誤以爲飛機的方位是在與此一曲線相切於A點之切線方向上（F_1 之處），即往往把飛機的方位假定得過陡了。

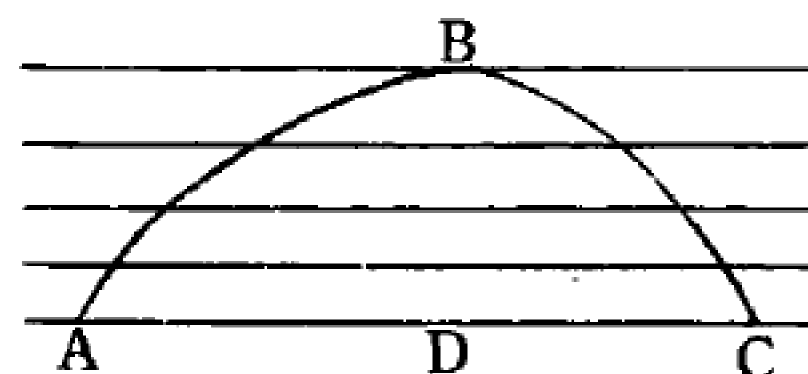


圖 17 — 37
由於聲射線之折射而又反射所造成之寂靜區。

如果聲波係由大氣層下面發出，例如由A至B（如圖17－37），則結果恰與上述者相反。倘在極高之空氣層中的B處，另有一反射現象發生，則聲射線便會重新射向下方而抵達C處。因此，在A處發射礮彈時，人們往往不能在D處，卻在十分遙遠的C處聽到隆隆之聲。普通礮戰中發生的所謂“寂靜區”（在D處），其原因即在於此。

聲波因空氣中風速的不相等會引起折射。地面的風，因受物體的阻礙，愈近地面，速度愈小；故若無風時，聲波不受影響，而傳播方向不變，如圖17－38(*a*)所示，其進行方向爲 *sa*；若有風，而聲波進行方向爲逆風，如圖17－38(*b*)，聲速受風速上下不同的影響，成爲上小而下大，因而聲波波前向上偏，產生折射，沿 *s b* 方向傳播，因其折向上方，所以遠處就聽不到聲音。反之，若聲波進行方向和風向相同，如圖17－38(*c*)，聲速成爲上大而下小，聲波就向地面折射，故高處的鐘聲，順風時在地面上聽得更爲清楚。人若順風呼叫，就比逆風時清楚許多。

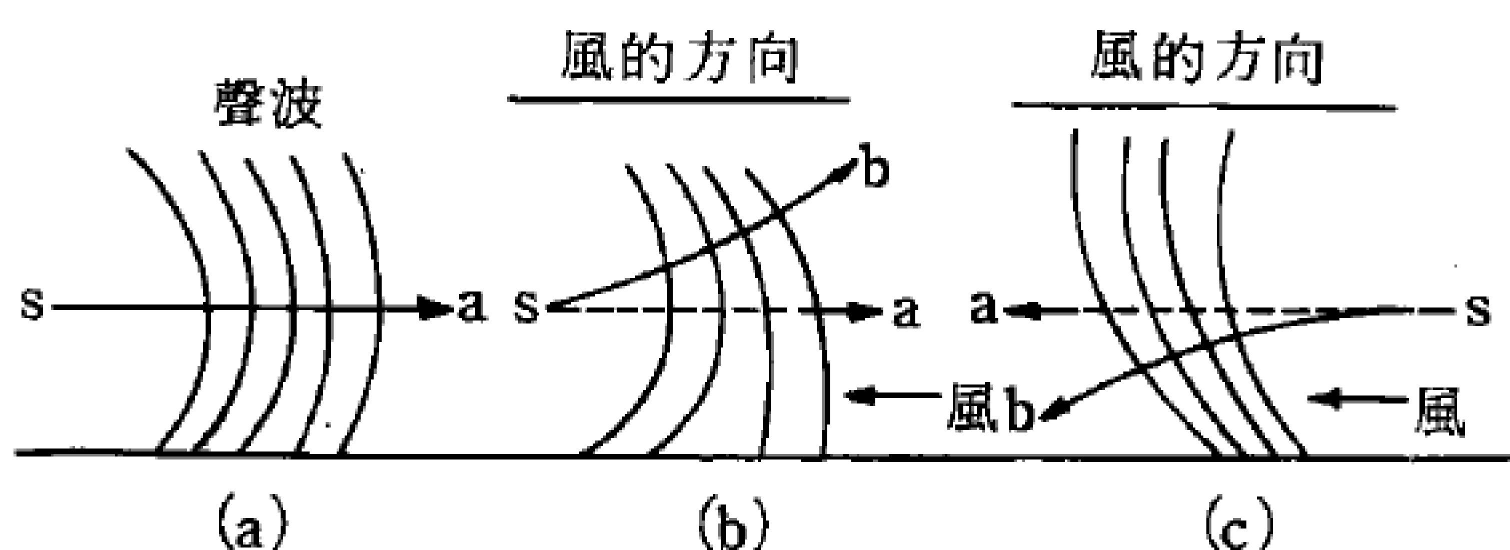


圖 17 — 38　聲波因風向不同所起之折射

聲波也會因空氣中溫度的不相等而引起折射。地面大氣溫度每隨高度不同而逐漸改變，由於聲音的傳播速度會隨溫度的增高而加快，所以，當聲波在氣溫不均的地方進行時，聲波即會轉彎，如圖 17 — 39，日間和天氣好時，地表空氣的溫度高，

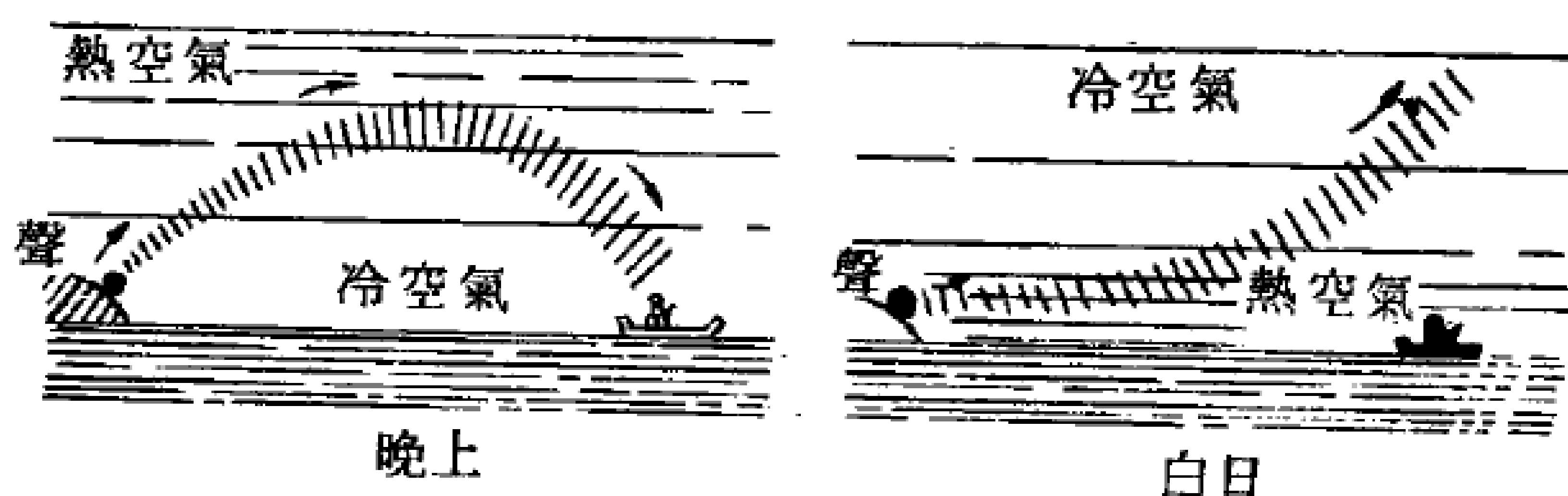


圖 17 — 39　聲波因溫度不同所起之折射

愈往上空氣溫愈冷，故聲速就如逆風進行一樣，上小下大，因而向上折射而不易到達遠處；在夜間或陰天時，地面溫度已降低，而上方空氣溫度卻較高，因此聲速即如順風情形，上大而下小，聲波向地面折射。故在夜闌人靜時，遠處的聲音尚可聽得很清楚。

【聲波探測器】(Sound navigation and ranging)

這是現代超聲學的第一樁實際應用，聲波探測器是反潛艇戰爭中不可少的設備，對於一般航海工作也極重要。測深計可算是使用最廣的聲波探測設備，而且價錢低，遊船也可裝設。測深計的用法極簡便，它有一個電功率輸送器（能將一種力量轉變爲另一種力量），產生脈衝，通過水而播送，達到海底或魚群。這脈衝有一部分反射回來，給測深計接收到。聲音穿過水的速度是已知數，所以很容易算出深度，只要看回聲由目標回船所歷時間即知。

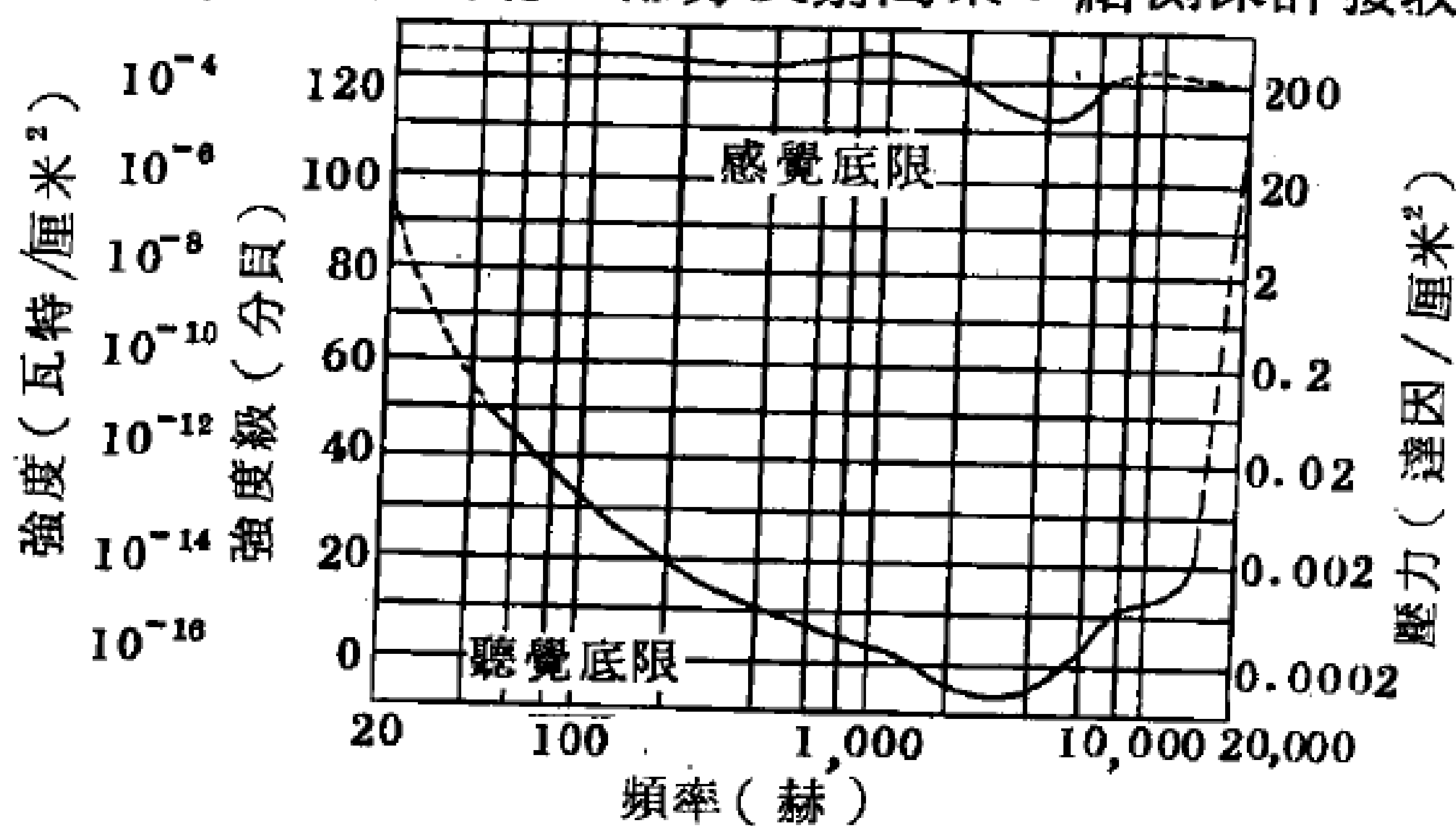


圖 17 — 40

【聲波圖】(Audiogram)

陳示聽覺衰減或底限強度（以分貝爲單位）對頻率變化的圖形，用以顯示全部聾度（*deafness*）的範圍及整個可聞範圍的變化，如圖17—40所示。在這種聲波圖中，甚易描繪正常的可聞底限和感覺底限。聽覺衰減（*hearing loss*）的聲波圖顯示噪音對聽者的實際影響，常比噪音的聲譜更爲有用。用聽力計可得到描繪聲波圖曲線的數據。

【聲音】（Sound）

作用於人耳並使之產生聲音感覺的機械振動，通常是空氣的振動。我們的耳朵只能聽見頻率範圍約爲30赫到15,000赫，但這只是一個平均數，年紀越大的人所能聽到的頻率範圍越小。

更慢的振動（亞聲波）和更快的振動（超聲波）對人耳都不起作用，人類所聽到的聲音是否響亮，與聲音的響度、耳朵的靈敏度、情緒、興趣、注意力以及其他心理因素的影響有關。人耳對不同頻率的聲音，有不同的響應，聲音的響度與其頻率及強度有關，如圖17—41所示。不過聲振動在具有彈性的任何物體，如氣體、液體和固體內都能夠傳播。彈性媒介體內的這種振動叫做聲波或者音波。

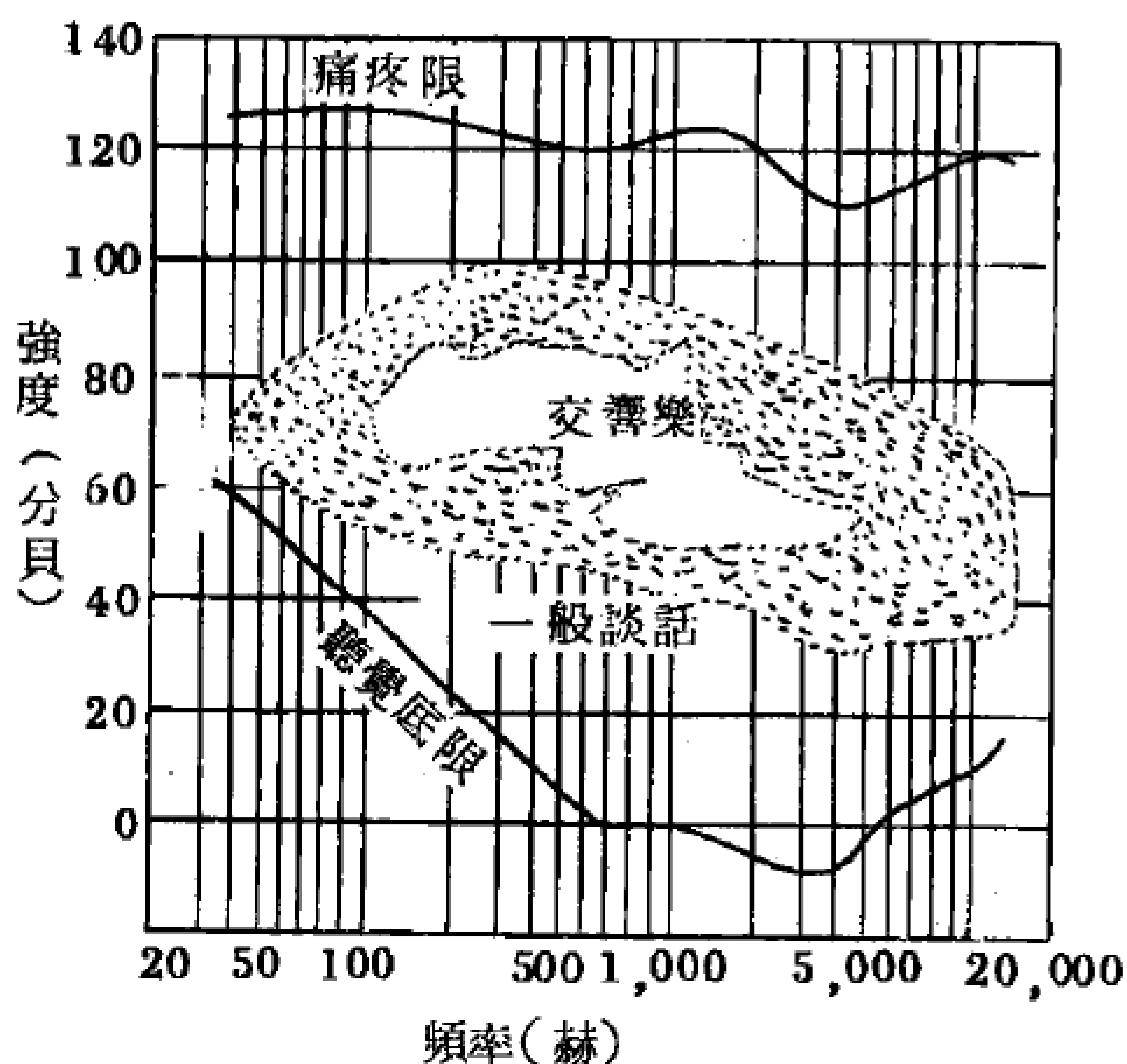


圖17—41　人耳的相對響應

聲強決定於振動的強度（幅度），而音調（聲音的高度）則決定於振動的頻率。振動頻率越大，則音調越高。

音樂聲音是由爲數不多的正弦波，即基音與數個諧波，所組成波形比較簡單的振動。非音樂聲音則爲噪聲、沙沙聲等的波形很複雜，而且

只能用許多正弦波的和來表示。

【聲音之傳遞】(Transmission of sound)

物質振動的時候我們可以聽到它的聲音，但在某些情況下就不然了，如果把一只鐘放在與抽氣機相連接的玻璃罩裏，我們可以聽到鐘擺的聲響；但如開動抽氣機將玻璃罩內的空氣逐漸抽去，鐘擺的聲音也就會隨著罩內空氣的減少而減低了，最後幾乎聽不到，如再把空氣放進罩裏，鐘擺聲又隨之而起了。這就說明了聲音是不能在眞空裏傳播的。但為什麼聲音能在空氣中傳播呢？我們應該知道，物體振動時發出的聲音，是要靠著媒介物才能傳到耳朵中去的，空氣是媒介物中的一種，除空氣外，固體和液體亦能傳播聲音。如把手錶放在桌子的一端，把耳朵貼在桌子的另一端，亦可以清楚地聽到手錶的滴答聲，這是因固體能傳播聲音。浸在水裏能夠聽到岸上人叫喊的聲音，這是因液體能傳播聲音。

鈴聲是通過空氣傳到人的耳朵裏的，但是聲音是怎樣傳播的呢？當鈴向外搖動時候，跟鈴接觸的一層空氣受到壓迫就向外移動，變成濃密的一層，這層空氣又向外擠壓鄰近的一層空氣，這樣一層擠壓一層，結果就有一圈濃密的空氣向外傳出了。當鈴向裏搖動時，接近它周圍的一層空氣就向裏移動，變成稀薄的一層，空氣稀薄，壓力也就減少了，於是就會使到外面一層空氣向裏移動，這樣一層引動一層，結果也就有一圈稀薄空氣向外傳播，鈴向外和向內搖動一次，空氣就有一層濃密和稀疏的波紋向外傳播，鈴繼續搖動，空氣也就不斷地有一疏一密的波紋向外傳出，這種波紋叫做聲波。這種聲波傳到人們耳朵裏面，耳膜受到忽密忽疏空氣的影響，也就引起了同樣的振動，刺激了人們的聽覺神經，就使人聽到聲音了。

但聲音傳播的快慢情形又是怎樣的呢？根據科學家試驗的結果，聲音在空氣、水和固體傳播的快慢各有不同，在空氣裏聲音傳播的速度為每秒鐘332公尺，在水裏比空氣快，為每秒鐘1,450公尺，約等於

在空氣速度的四倍多，在鋼鐵裏約爲每秒鐘4,900至5,100公尺，就是說聲音傳播的速度，要比在空氣裏快15倍。而且聲音傳播的快慢，在同一種的媒介物（空氣、水、或固體）裏，由於天氣冷熱不同，也會發生變化。在夏天聲音傳播的速度要比冬天快。

【聲音之響度】（Loudness）

聲音的響度取決於振動激烈的程度，弦或其它發音體的振動幅度愈大，聲音愈強烈。音調和響度是樂音的兩個特質，第三個特質是德國人叫它做音品或音色的，它是由振動的性質來決定。這種性質是一種特質，例如小喇叭的聲音和鋼琴的聲音不同，雖然它們可能是以同樣的響度發出中間C音。

同一聲音近聽時聲音大，遠聽時聲音便減小。這是因爲聲波向各方傳播，傳播愈遠，散佈的面積便愈廣，所以振幅愈小，聲音也愈弱。如果聲波沿細管進行，且使其振幅保持一定，那麼聲音可以傳播很遠而響度不變。傳聲筒、聽診筒、聽診器就是利用這個原理製成。

【聲音能量通量】（Sound - energy flux）

$$J=\frac{1}{T}\int_0^T pSv_a dt$$

式中T爲積分週期，p是在面積S的瞬時聲壓，v_a是爲垂直平面S方向上的瞬時粒子速度。

【聲音強度】（Sound intensity）

$$I_a=\frac{1}{T}\int_0^T pv_a dt$$

式中T爲積分週期，p是瞬時聲壓，v_a是在a方向的瞬時粒子速度。

【聲音清晰度】（Sound articulation）

指聲音明顯的程度。

【聲音傳輸】（Transport of sound）

聲音傳輸有兩種型式，最常用的一種是將載波的振幅隨聲音信號的振幅而變更，這叫做調幅（*amplitude modulation*；*A.M.*），如圖 17—42所示，這種型式的傳輸常用在標準無線電廣播。

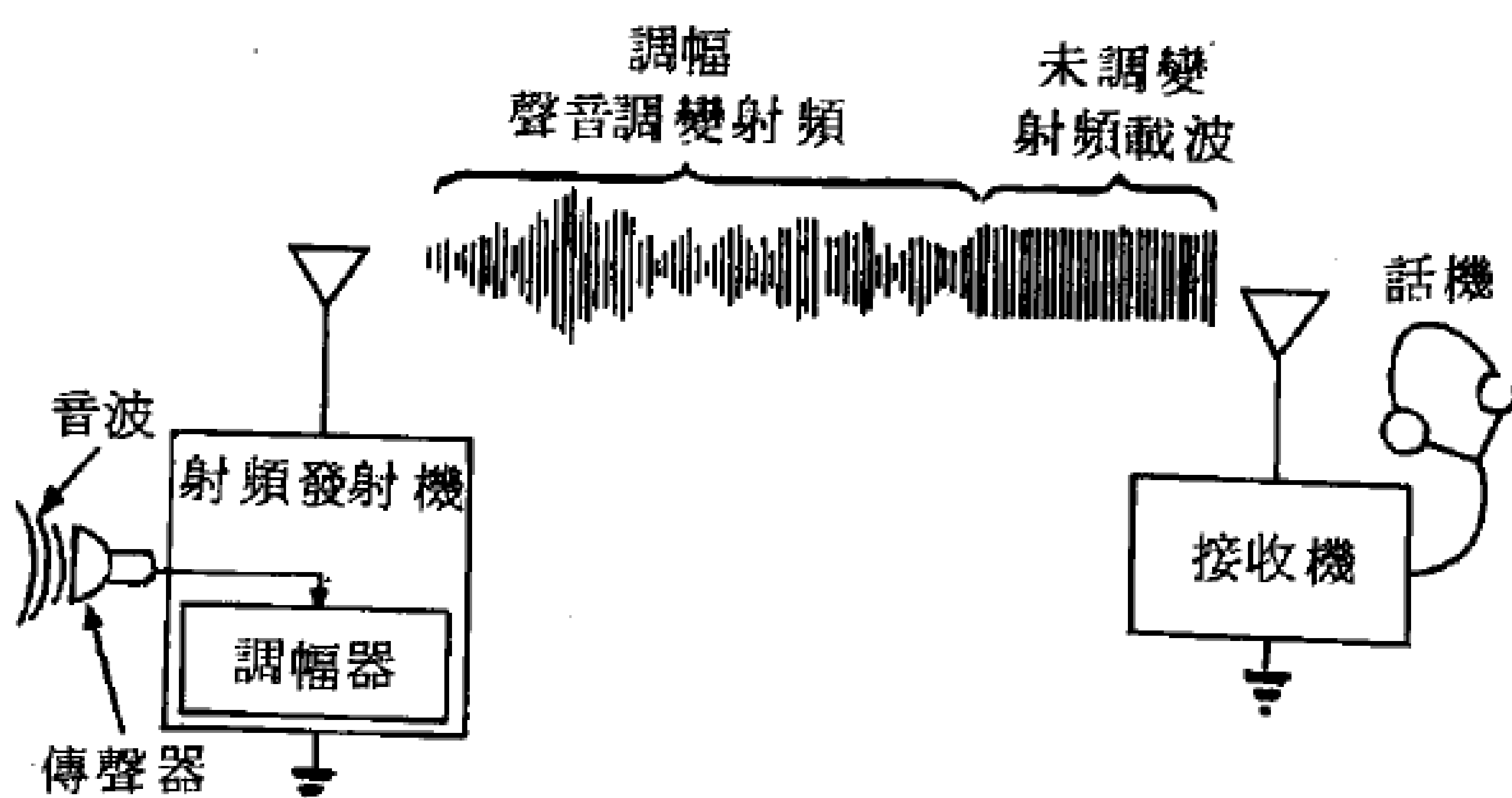


圖 17 — 42　調幅傳輸

聲音傳輸的另一種型式叫做調頻（*frequency modulation*；*F.M.*），如圖 17—43所示。它的應用已日益普遍，在這種調變中，載波頻率依照聲音信號的頻率而來回移動。調頻傳輸較少靜電干擾，當調幅接收有困擾時，可用調頻來代替。

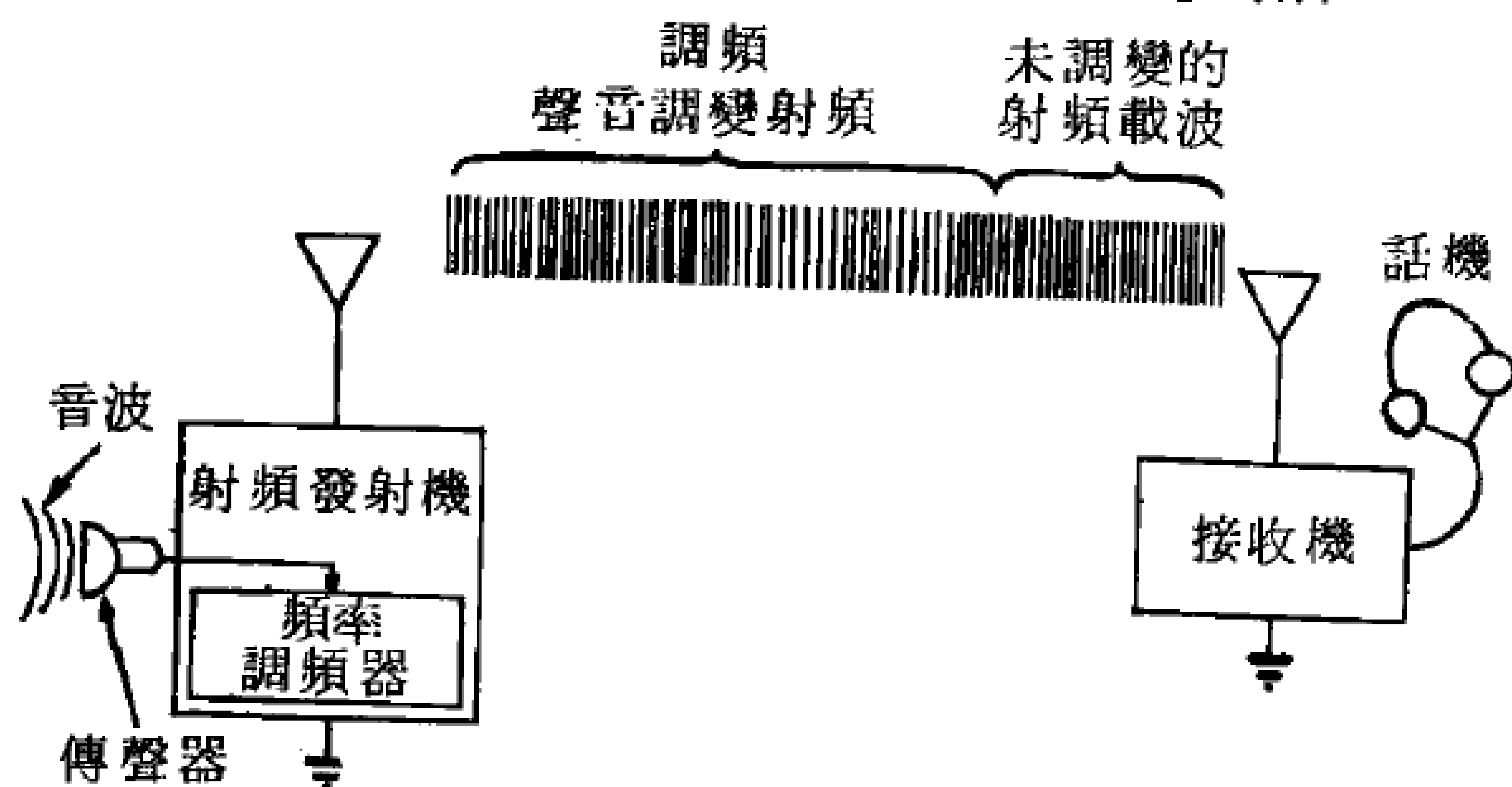


圖 17 — 43　調頻傳輸

【聲負荷】（Acoustic load）

指包圍揚聲器的空氣。

【聲納】（Sonar）

聲納是一種軍艦用以偵測潛艇的儀器。聲納怎樣探知附近有潛水艇呢？大致上講有兩種方法，第一種是設計一種聲波偵測器（*sonic detector*）裝在防潛艦艦身水面下的兩側。偵測器的主要部門是一種壓電晶體（*piezoelectric crystal*），最早用的晶體是若歇耳鹽（

Rochelle salt ），它與聲波接觸，受聲波的壓力會產生電流。量測電流之強弱就可知外來聲波的強度。潛水艇在海面下航行，其機器與螺旋槳不斷發出有規則的聲波，這聲波有時會傳得很遠，可被敵人艦隻用偵測器聽出。這種方法雖很簡單，但是對方潛艇發出的聲波很微弱，非有很精細靈敏的偵測器不容易探知。同時縱然能夠測出傳來的聲波，也很難確定聲源的距離和方向。所以有第二種方法，那就是在聲波偵測器外另加上一個聲波發射器（ *sonic transmitter* ）。發射器的基本構造是一塊平板。板的一面與水接觸，另一面與其他能使板振動的儀器連結。當平板（多爲圓形）振動時，外面的海水亦隨之振動而產生聲波。聲波在水中遇著障礙物（對方的潛艇或者是大魚群）會因反射而復傳回聲源，在發射器旁裝個偵測器就可測出反射回來的聲波。

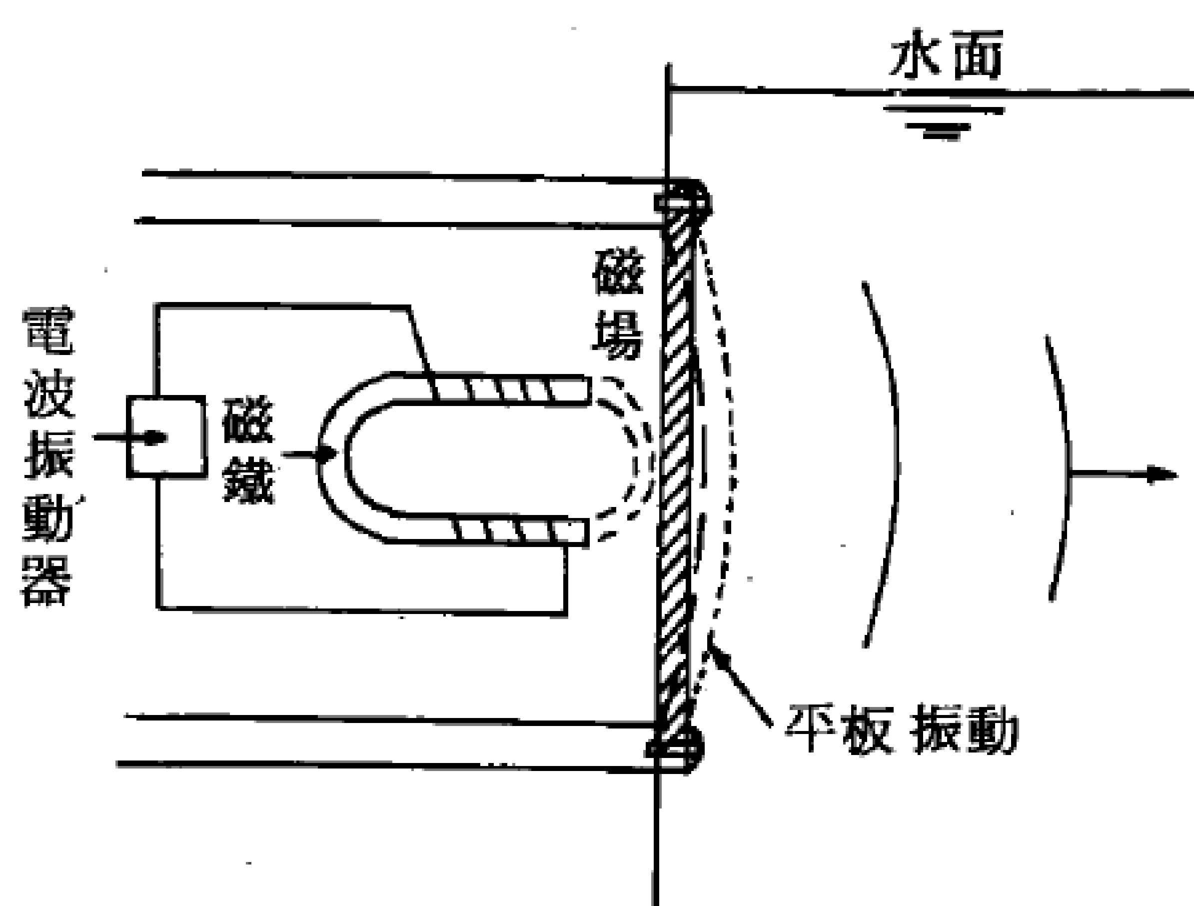


圖 17 — 44　簡單的聲波發生器

要使發射器能產生一定頻率而強度很大的聲波並不容易。老式的發射器是在一個圓筒上釘塊有磁性的金屬平板（鐵鎳合金），筒內裝一個繞有電線圈的*U*形磁鐵，電線裏的電流強弱與頻率可由一電波振動器（ *oscillator* ）控制，該振動器產生的電流與家庭中電燈內之交流電相同，只是其頻率可控制（電燈電流的頻率多爲60赫茲），同時電壓也可調節。電流通過磁鐵上的線圈時，即產生交流磁場，平板受磁場感應而受到一相斥或相吸的力而使平板振動（如圖 17 — 44 ）。每塊平板都有一定的自然頻率，如交流磁場之頻率與平板的自然頻率相同或成整數比例時，平板因共振（ *resonance* ）現象即會產生位移很大的振動，從而推動一邊的海水，發出很強的聲波。

【聲能】(Sonic energy)

聲波是由於空氣振動而傳遞，所以視爲能的流動。每一平方厘米之聲能

$$I=\frac{P^2}{10DC}\text{微瓦}$$

式中P爲音波對面之壓力，單位爲巴（*bar*），即達因／平方厘米。D爲媒介體之密度，C爲音波傳播速度，單位爲厘米／秒。而在空氣中

$$I=\frac{P^2}{410}\text{微瓦}$$

【聲振盪】(Sound vibration)

聲音是一種振動，其頻率約爲20赫到15,000赫的機械振動，此種振動能在人耳內產生聲音的感覺。

【聲帶】(Vocal cord)

人之聲音，由膜之振動而發，喉頭有二薄膜，是謂聲帶。緊張於氣道上，其間有細隙，其周圍有筋，由筋之收縮，可任意增減膜之張力，且其中間細隙之寬狹亦可任意增減，從肺發出之氣流，鼓動聲帶之膜，使之振動，遂發聲音。聲音之銳鈍，與膜之張力及質量有關係，張力強而質量小，則聲音銳。張力弱而質量大，則聲音鈍。即由筋之作用，使聲帶之張力及厚薄任意變易，可發種種之音；又由口腔之廣狹及形狀不同，可發各種異音色之音。女子及小孩，較男子及成人之聲帶薄而短，其振動數多故音高。普通男子談話時，所發之聲音，一秒間之振動數在95與142之間，女子聲音之振動數，在272與558之間。

【聲速】(Velocity of sound)

按照傳波的介質，聲音的傳送包含縱波、橫波或扭波波動。波行進的速度與基本物理量、彈性和密度有關。大概速度和彈性的平方根成正比，和密度的平方根成反比。

聲速通常在固體介質裏最大，液體介質裏較小，氣體介質裏最小。聲音的速度也隨著絕對濕度之增減而增減；而且聲音的速度，隨溫度而不同，溫度高的時候速度也大。在廣佈的介質中小振幅的彈性波，聲速 v 爲

$$v=\sqrt{\frac{\kappa}{\rho}}$$

式中 ρ 是介質的正常密度，κ 是介質相關的彈性常數。若是氣體或液體之類的流體介質，κ 是體積彈性係數；若是固體則用剛性係數。

通常流體介質有兩種彈性，即絕熱與等溫，這兩種彈性係數之比等於這兩種比熱之比（即 γ）。牛頓推導氣體中的聲速，將等溫彈性係數 p（即氣體的壓力）代入上式中，而得

$$v=\sqrt{\frac{p}{\rho}}$$

此值比在大氣中觀察所得之值爲低，拉普拉斯（*Laplace*）指出在聲波中壓縮和稀疏改變太快，這是絕熱過程，故聲速應爲

$$v=\sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

此式所得之值與觀察值極相符合。

由上式顯然可知氣體中的聲速與溫度有關，其關係爲

$$v_t=v_0\sqrt{1+\alpha t}$$

式中 v_0 和 v_t 各爲在 $0°C$ 和 $t°C$ 時的聲速，α 是氣體膨脹係數。在空氣中的聲速，常化成下式計算之

$$v=331+0.6t\ 米／秒$$

式中 t 爲空氣溫度，以攝氏表之，$v_0=331$ 米／秒。

在常溫 $15°C$ 時，聲音在空氣裏的速度是 340 米/秒，在水裏的速

度約大 4 倍，在鋼鐵上的速度約大 15 倍。

用一停錶定出遠距離開砲時所發生砲口閃光與耳聞砲聲之時間差，即可求得空氣中之聲速。從乙地觀測甲地放砲，先見火花，後聽砲聲。假設這中間的時間是 t ，甲乙兩地的距離是 S，那麼聲速應該是：

$$V=\frac{S\text{（距離）}}{t\text{（時間）}}$$

上數係表示聲音與傳音氣團相較之速度。當空氣本身以速度 w，而朝著聲音傳送的方向或與其相反方向移動時，也就是說在所謂順風或逆風的情形下，我們在地面量得之聲速將爲 $V'=V+w$ 或 $V'=V-w$ 。但此實無關重要，因風速很少能超過 10 米/秒的。

利用空氣中之聲速，測定遠處雷雨距離之法至爲簡便。其法係先測定閃電與雷聲之時差爲若干秒，再以當時溫度之聲速乘之，所得米數即爲所求之距離。

任何氣體在溫度一定時，p/ρ 爲常數，故由聲速方程式可知聲速與壓力無關。只在非常高的壓力時，波義耳定律有顯著的偏差，聲速才與壓力有關。又由公式可知聲速與頻率無關，但在高頻率時，若干氣體有顯著的頻散（*dispersion*）。音速公式涉及比熱比 γ 和壓力 p，故聲速與氣體性質有關，因此氣體潮濕和不純淨都影響聲速，而且是隨著絕對濕度的高低而增減其速度。

量度聲速的方法可直接量取傳聲的距離及所耗時間，或者用孔特管（*Kundt's tube*）的駐波方法。由這些實驗所得主要結果是：

1. 聲音強度影響聲速。

2. 在空曠處的聲速比在管中者大。

在固體中，可產生縱波、扭波和橫波，因彈性常數有異，故得不同的傳波速度，玆述之如下：

1. 在線上橫波的速度爲

$$v=\sqrt{\frac{T}{m}}$$

式中T是張力，m是線密度，即單位長度的質量。此式與材料的彈性性質無關。

幾種介質中的縱（聲）波速度		
介　　　質	溫度°C	速度　米/秒
空　氣	0	331
氫	0	1,286
氧	0	317.2
水	15	1,450
鉛	20	1,230
鋁	20	5,100
銅	20	3,560
鐵	20	5,130
汞	25	1,478
人造樹脂		2,680
派熱司（*Pyrex*）玻璃		5,640
鉬		6,250
鈹		12,890

2. 棒中橫波、聲速與楊格係數及頻率有關。其速度為

$$v=\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

式中Y為楊格係數（*Young's modulus*）。

3. 線及棒中的縱波，其速度為

$$v=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

式中E是體積彈性係數（*bulk modulus*）。

4. 線及棒中的扭波，其速度爲

$$v=\sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

式中μ是剛性係數。

以上是在不同介質中聲速的求法，但聲波亦如水波、光波以及無線電廣播之電磁波；其傳播速度恆等於頻率與波長的乘積，故聲速即爲

$$v=f\lambda$$

式中v爲聲速，f爲波動頻率，λ爲聲波波長。

【聲源】（Source of sound）

振動而發聲的物體，稱爲聲源。如音叉和一切樂器等，都是聲的來源。聲的來源係由於物體的迅速振動，若物體不發生振動，就沒有聲音的發生。

【聲源之定向與定位】（Sound source direction and position）

由音波進入兩耳時所產生之音強差及相位差方可辨音源之方向與遠近。

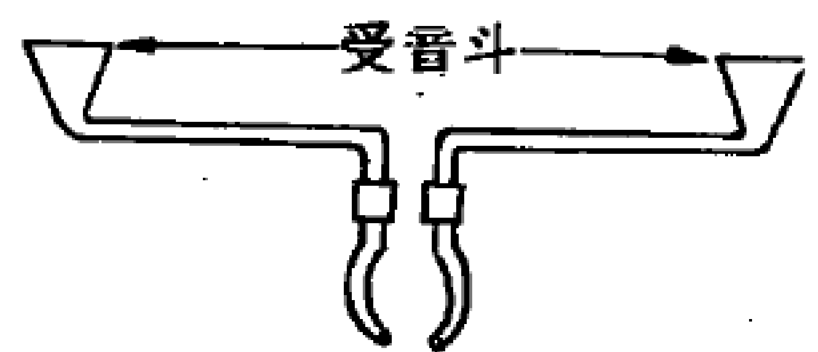


圖 17 — 45

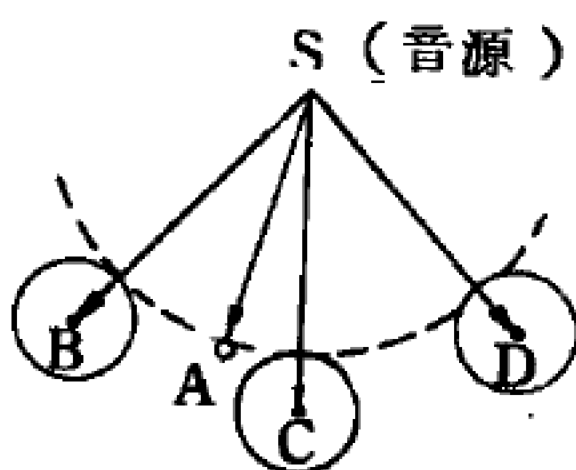


圖 17 — 46

音源定向收音器，其構造如圖 17 — 45 所示，使兩耳有效距離加大（二音斗相距數呎），旋轉該器使聲源正對觀測者時，即知音源方向爲二受音斗連線的垂直方向。

由數聽聲站（*listening station*）合定向位，如圖17一46所示，即三或四個聽聲站合作推判。各站收音源波動收到時間告知中央站，求出其切曲線（即圖 17 — 46 中之虛線），再定音源（S）。

【聲源探測力】（Auditory perspective）

聲源探測力通常表示人對探測聲音位置的能力，即聲音至聽者的方位、高度和距離。距離最難憑聽覺估計，以前以為一定聲音的各頻率成分是速度頻散（*velocity dispersion*）者，因此複音的音色隨距離而變。但實驗顯示並無頻散，只是高頻率因距離的吸收較大，低頻率的吸收較小而已。因此聲音隨距離而變柔美，即使聲音強度因距離而降低，聽者仍難估計發音的區域。聽者用兩耳可相當精確估量聲源的方位和高度。頭部輕微的變動，甚或聽者都察覺不到，也會確定角度方向，但頭部穩定不動時無法決定。在室內時因多次回聲的結果，使聽聞情況複雜。若在耳朵的聽聞以外，再加上其他的感覺，尤其是以目注視，極有助於確定聲音的位置。

【聲壘】（Sound barrier）

藉助於改進了的活塞發動機、噴氣發動機和火箭，飛機便能越飛越快。但在幾年前，人們發現了一個壁壘，它暫時阻止速度作任何再增加。這個壁壘出現在速度為每小時 760 哩時，當飛機到達這一速度後，它會突然震顫和跳躍，宛如它正在撞擊著壓縮空氣袋。有時這種衝擊是如此猛烈，以致機翼會自飛機裂開。

所發生的現象是，飛機已碰到聲音的壁壘，簡稱為聲壘；它之所以稱為聲壘，是由於它直接與聲速有關之故。事實上，每小時 760 哩是聲音在海平面的速度。聲音以一系列的壓縮波傳播；空氣分子被推擠在一起，而這些壓縮區則由聲源傳播出去。

當飛機的速度較聲速為慢時，自飛機來的聲波會走在飛機的前面。但當飛機的飛行速度增加到聲速時，便與聲波並駕齊驅。此時，壓縮波不能走在飛機之前，因此它們就在機翼和機身之前堆積起來，結果在飛機之前堆砌起一道高壓的空氣牆，這時飛機若想飛得快些，它必須打破這道牆，由此可知飛機要衝破這一壁壘是如何困難了。

當飛機以比聲速還要快的速度飛行時，便把聲波留在後面，使它不

能給飛機帶來任何麻煩。僅僅當飛機以加速或減速通過聲壘時，才會與壓縮波相遇。

人類已研究出新型飛機的形狀，使飛機得以輕易地穿過聲壘，這類飛機稱爲超音速（*supersonic*）機。例如杜格拉斯火箭（*Douglas skyrocket*）就是一種超音速的飛機，它能以兩倍於聲速的速度飛行。尖形的機頭，以及薄薄的向後擴展的機翼，這種形狀使飛機能較順利地把聲壘或高壓區切開而前進。

【聲駐波】（Sound standing wave）

聲音遇到障礙物（如房屋的牆壁）而反射時所發生的現象。這時在房間內就形成聲波的波節與波腹系統，由於這種緣故，在房間內的不同地點，聲音的響度也就有所不同，並且常常是根據一個十分複雜的規律而分佈的。

【聲學】（Sound）

在彈性物質中，壓力、應力、粒子位移和速度等的變化，均爲聲學現象。

【聲頻】（Audio frequency）

任何振動其頻率屬成音範圍者，謂之聲頻。在此頻率範圍內能使人耳有聽聞的感覺，其範圍約爲每秒 20 至 20,000 週。在通訊系統中，頻率介於每秒 300 至 3,400 週時，通話最易聽到，在此範圍內的頻率稱爲口聲頻率（*voice frequency*）。

縱波頻率低於聲頻範圍者稱爲聲下波（*infrasonic wave*），常由大聲源振動產生，地震波即其一例。頻率高於聲頻範圍者稱爲超聲波（*ultrasonic wave*）。例如由交流電的共振，激發石英晶體的彈性振動，可產生頻率高達 6×10^8 週／秒的超音波，其在空氣中對應的波長約爲 5×10^{-5} 厘米，和可見光的波長相若。

【聲頻功率放大器】（Audio frequency power amplifier）

在電壓放大器中屏極電路內的變化信號電流，僅用來產生電壓，加至次一級的柵極上，這屏極電流通常並不太大。在功率放大器方面則不然，功率放大器必須供給負載阻抗大的信號電流。此種阻抗的數值約在2,000至20,000歐姆間。功率放大器用以激勵功率消耗甚大的電路或設備，例如揚聲器、發射機的某一部分，和柵極需要強大信號功率輸入的大型放大器等。

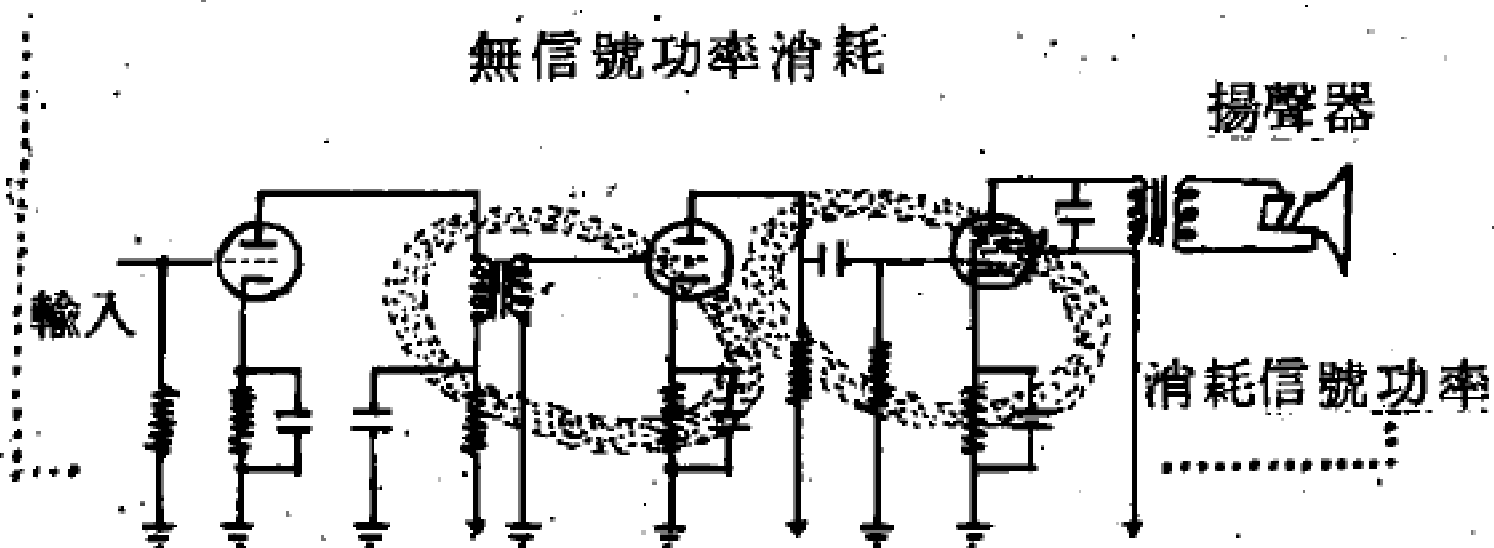


圖 17—47 聲頻功率放大器

聲頻功率放大器的一大用途是產生一強力聲頻信號。在無線電方面可用作接收機的輸出級，或發射機調變級前的聲音放大器，聲納方面它不僅用來產生信號推動揚聲器，而且亦可推動水下的發聲元件音鼓。

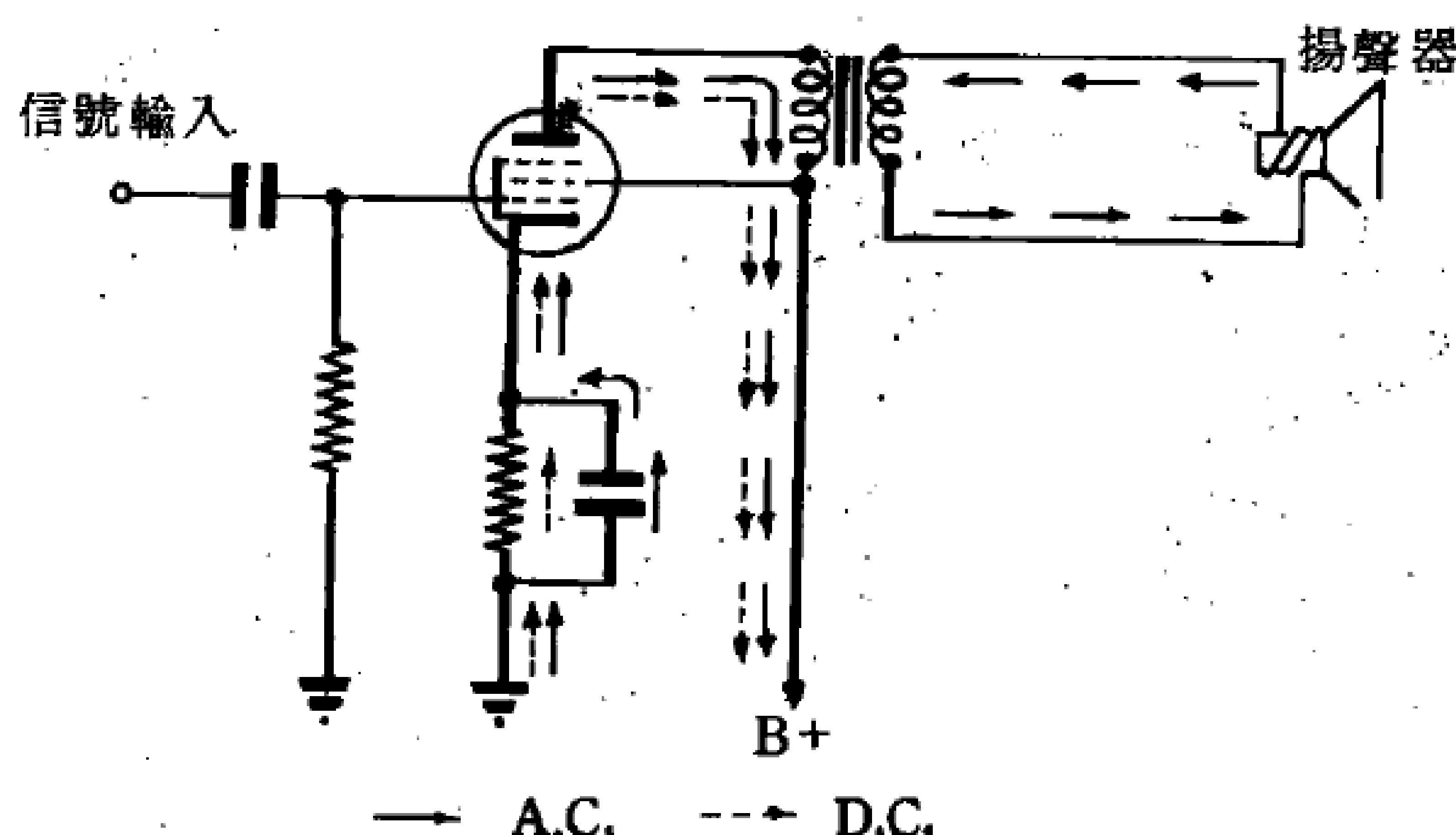


圖 17—48
功率放大器中的交流電和直流電

電壓放大器電路的主要目的，是產生大的信號電壓。這種電壓放大器的放大輸出將加至功率放大級的柵極。在電壓放大器電路中，一級電壓放大器的輸出接至次一級的柵極。這柵極電路中無電流流過，所以不消耗功率。倘使柵極電路中有電流流過，其功率消耗就須由前一級來供給。以放大器供給揚聲器而言，揚聲器在正

常工作時所需電流甚大，當有電流在電路中流過，就有功率消耗，所以功率放大器必須供給揚聲器電路的功率消耗。

電壓放大器電路中所用的眞空管，通常都以*A*類放大器工作，而用於聲頻功率放大器電路中的眞空管，則以*A*類、*B*類或*AB*類工作。三極管、五極管及束射管都可供功率放大器用，這些眞空管可單獨工作，或並聯或推挽式工作。至於要連接成那一種型別工作，須視該放大器所需功率的大小而決定。在功率放大器中，輸出電壓的大小並非重要，而功率輸出才是主要因素。如功率放大器要供給大量的功率，它必須承受大的電流——較電壓放大器有更大的電流。

流經聲頻功率放大器眞空管屏極電路的電流，可分爲二部分（如圖17—48）：

1. 一種穩定或直流電部分 。
2. 一種變化或交流電部分 。

屏極電流的有用部分是交流變化的部分，像揚聲器中僅是屏極的變化電流才能發出聲音。在輸出變壓器的一次繞組中有屏極電流的直流電部分，亦有屏極電流的交流電部分。直流電部分在一次繞組中產生穩定的磁場，不會在二次繞組中感應電壓，使之作用在揚聲器的音圈上，再由揚聲器把這電壓變成聲音。

可見屏極的穩定直流電不直接提供功率放大器電路的聲音輸出，可是這穩定的屏極直流電可在屏極電路中產生功率損失，使眞空管和輸出變壓器發熱。

【聲頻抗流圈】（Audio frequency choke）

阻止聲頻通過之鐵芯線圈，謂之聲頻抗流圈。聲頻抗流圈爲單線圈電感器·分電源濾波抗流圈（*filtering choke*）及聲頻電路專用之聲頻抗流圈兩種，通稱*AFC*。濾波電路係藉*AFC*及電容器所構成，爲節省地位與經濟及電能損失，大都採用較低電感量之抗流圈及高電容量之

電容器，故濾波抗流圈之鐵芯可採較低磁通量之矽鋼片任之。其鐵芯閉合處大都留有空隙，稱爲浮動電感抗流圈（*floating choke*），其自感量約在 30～50 亨利之間。

用於聲頻電路之 *AFC*，大都需極高之自感量，通常在100～1,000亨利之間，故須採用高級矽鋼片爲鐵芯。爲免磁飽和，亦須留一隙口。磁飽和將使抗流圈失去其自感量，且造成高熱而損壞電路。

鐵芯抗流圈之自感量，可據下列實用公式計算之

$$L = N^2 \mu A$$

式中 L 之單位爲亨利，N 爲圈數，μ 爲鐵芯磁導率，A 爲鐵芯有效面積，單位爲平方吋。所謂有效面積，即減除矽鋼片上絕緣漆厚度以後之實在面積。

【聲頻放大器】（Audio frequency amplifier）

人耳的聽覺頻率，約在 20 赫至 12,000 赫的範圍。聽覺頻率的範圍，各人稍有差異。一般來說，人耳可聽到空氣壓力每秒20 次的變化，至 12,000 次變化所造成的基音（*fundamental tone*）。在此，基音是指樂器所能發出最低頻率的聲音，所以空氣壓力變化越快，人耳所聽到的聲音就越高。

電子管或電晶體，都不能直接將聲音或空氣壓力的變動予以放大。所以必須先將聲音或空氣壓力的變動，經由傳聲器（*microphone*）或音電轉換器（*acoustic-electrical transducer*）轉變爲相應的電流（或電壓）振動（*current vibration*）。換言之，某人對傳聲器發一 1,000 赫的正弦波單音，傳聲器輸出的正弦波電壓變化，也必爲 1,000 赫的頻率。

聲頻放大器的目的，就是將傳聲器的輸出電壓予以放大，其作用頻率，則在人類聲音的頻率範圍內。近年來已將聲頻放大器的頻率範圍擴大到 5 赫至 100,000 赫。此種放大器的形式有磁感耦合放大器、推挽

式放大器、阻耦合放大器和變壓器耦合放大器。

圖 17 — 49 所示聲頻放大器電路的零件作用分析如下：在控制柵極電路中的 0.01 微法耦合電容器和 470 仟歐柵極電阻器可耦合放大器的控制柵極至前一級檢波器。電容器同時阻止檢波級的直流電加至放大器的柵極上。

在陰極電路中的 330 歐姆電阻器爲陰極偏壓電阻器，而 5 微法電容器爲旁路電容器，使屏極電流中的交流部分經此而通地，以免在陰極電阻器上產生變更的偏壓，而形成反饋作用減低放大。

輸出變壓器的一次繞組爲放大器屏極的負載，放大器放大後的信號由變壓器耦合至揚聲器。跨接在一次繞組的 0.001 微法電容器爲一高頻旁路電容器，可使高頻信號不致進入變壓器一次繞組，以減低揚聲器內的高頻聲音和雜音干擾。將其作用列表如下所示：

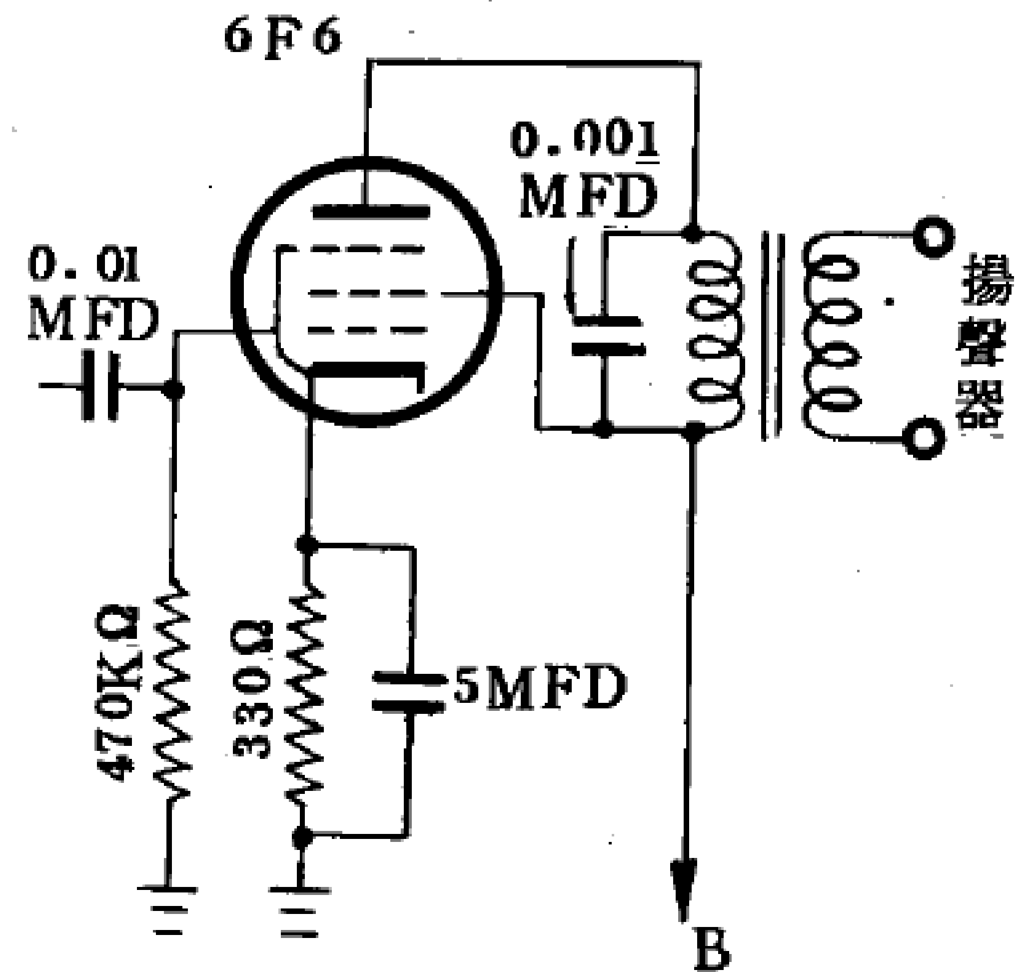


圖 17 — 49

零　件	作　用
0.01 微法電容器和 470 仟歐電阻器	將聲頻放大器耦合至前一級檢波級，並阻止直流電進入柵極
330 歐姆電阻器	供給陰極偏壓
5 微法電容器	使陰極交變信號經此而旁路通地
0.001 微法電容器	阻止高聲頻信號進入揚聲器
輸出變壓器	當作屏極負載，並將放大器耦合至揚聲器。

【聲頻限制電路】(Audio limiter)

接收電碼的電報機一項減弱雜音的措施，通常在接收機的聲放級輸出電路加設限制波幅的電路裝置。

【聲頻振盪器】(Audio frequency oscillator)

產生約20赫至200仟赫範圍聲頻正弦波與矩形波的裝置。如圖17—50，分爲振盪部、矩形波產生部及電源部等三部分。振盪部通常使用五極振盪管與CR廻路振盪，把約20赫至200仟赫範圍的頻率分爲四波段，能連續的產生正弦波。矩形波產生部，需正弦波時當做放大廻路使用，並由掉換開關能接到產生矩形波的廻路。電源部略與收音器電源部相同，利用大容量的電容減少哼鳴。

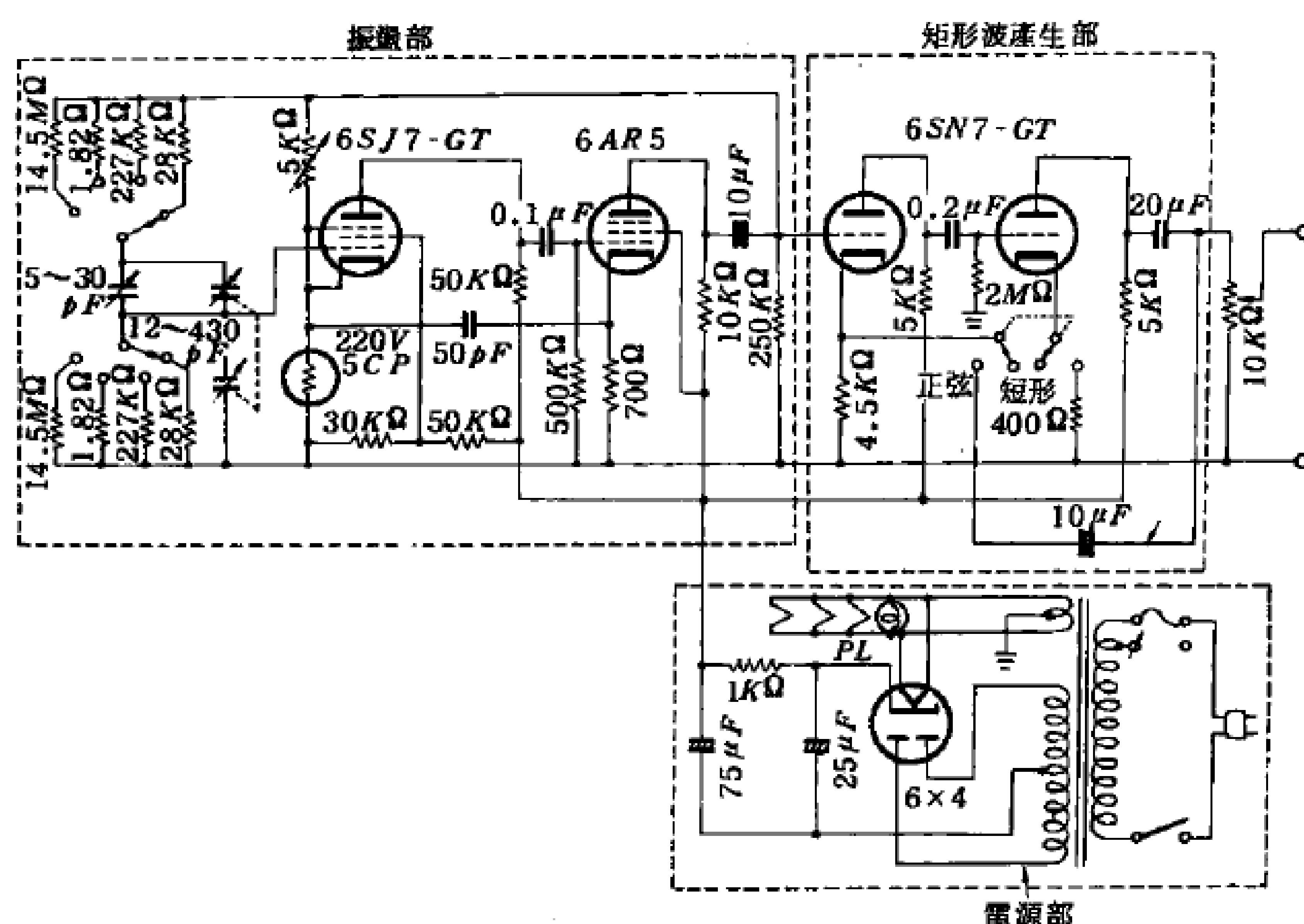


圖 17 — 50

如圖17—50，使用時將電源接到交流100V，開開關。然後隨著需要，轉換開關到所需波形（正弦波、矩形波）。再轉頻率帶轉換開關

到所需位置，轉動標度盤對好所需頻率。將以短導線連結輸出端鈕與實驗裝置，使用輸出電壓調整轉鈕，調整輸出電壓。

使用聲頻振盪器，須注意下列幾點：

1. 開電源開關等候10～30分鐘後方開始做實驗。被測定儀器也同樣，以免由發熱所引起的電阻變化及真空管動作不穩定，等待振盪頻率的穩定。

2. 輸出的⊖端鈕普通接地較為安全，與不使用電源變壓器的儀器連結實驗時需特別的注意。

3. 發生故障需要換零件時，給廠方修理較妥當。如果自己修理，需再做頻率校正。

4. 保管時避免衝擊、塵埃、濕度等。

5. 如不使用交流 100V，可能產生頻率的偏差。

【聲頻電能】(Audio frequency power)

聲頻電能是由聲波的振動通過傳聲器（ *microphone* ）的裝置轉變而來。聲波的頻率通常以 16～16,000 赫為標準，成人能感覺之範圍平均在 8,500 赫以內；幼童聽覺敏銳，亦不過在 12,000 赫以下。交響樂隊中之短笛，可發出高達 15,000 赫之振顫音，故商品聲頻電子工具如錄音機及擴音機等之技術標準，均以 15,000 赫為頻率應度（ *response* ）及聲音重發（ *reproduction* ）的最高限度。

聲音的傳遞由於彈性物質的質點受激而振動。當聲波壓迫質點時，介質中之質點產生位移。彈性質點的恢復力又使每個質點重返它的起始點，慣性(*inertial*)又使質點繞其平均位置振動；因此，當聲波通過介質時，介質的質點將沿一定的軌道運動。在通過介質的過程中，兩不同位置的質點在軌道上運行有所前後。波動加於介質上的方法，決定連續質點行進時軌跡的形狀。軌跡與波動的方向線平行時稱為縱波，或稱為疏密波，簡稱 L 波。軌道與波動的方向線垂直時稱為橫波，或稱為切變波

(*tangential wave*)，簡稱 *S* 波。空氣適於縱波與橫波的傳播，但液體則只適於縱波的傳遞。光波與無線電波為橫波，故不適於水中傳訊。聲波的軌跡是縱波，故成為水中通信的有效方式。

聲波有反射、折射及交混回響(*reverberation*)等現象。聲音的強度，與發音體振幅的平方成正比。低頻的聲波，發音沉濁，高頻的聲波發音尖銳。但同一聲波振源的高音部，其振幅常小於低音部，亦即其強度較低，故在調頻 (*FM*) 廣播機中有所謂預強 (*pre-emphasis*) 電路以改善高音部之響應者。

聲音的強度單位為巴 (*bar*)，巴為每平方厘米受 1 達因壓力時之強度。聲波之振動經傳聲器正比地轉變為電流之變化後，即成為聲頻電能，聲頻電能的強度以分貝 (*decibel*) 為單位，1 分貝音量之強弱，適為人耳能辨別的音強變化率。但就頻率而言，人耳最易清晰感聞之範圍，在 1,000 ～ 3,000 赫之間，故有線電話寧取聲音失眞而易為人耳辨析之有限頻率範圍，以達簡易適用之目的，其原因即在此。

【聲頻調制】(Tone modulation)

由某個單音調的聲頻振盪對發射機進行調制。其用處在於使得不用本機振盪器就能對這個發射機所發出的電報信號進行接收。在接收沒有音頻調制發射機的電報信號時，需要本地振盪器產生振盪與輸入信號發生差拍 (*beat*)。當電報信號為聲頻調制時，利用普通的檢波 (*detection*) 方法就可以分離出聲頻 (調制頻率) 電流，聽到的電報信號就是這個電流的長聲和短聲。

【聲頻線圈】(Audio frequency coil)

聲頻線圈為使用矽鋼片 (*silicon steel sheet*) 為芯的線圈，俗稱鐵芯線圈。矽鋼片之磁導率大於空氣 300 ～ 500 倍，其品質視單位截面積容許通過之磁力線數而定。通常電源變壓器所用之矽鋼片，每平方厘米截面積中可通過一萬線。聲頻放大器 (*A.F. amplifier*) 及調

制器（ *modulator* ）中所用之變壓器或聲頻抗流圈（ *AFC* ）的鐵芯，通常以每平方厘米五萬至十萬線的矽鋼片任之，因為此等電路需要高電感量之*AFC*或變壓器；為減少體積及各種損失，提高工作效率，故須採用高磁通量的矽鋼片。

鐵芯的磁路，以環形的漏磁最小且用料最少，但環形鐵芯之線圈殊不易繞製，僅在電力工程中採用之。此外以正方的“口”字形鐵芯之磁路最短，用料最為經濟。商品矽鋼片以磅計，各種因素如鐵損失等均以每磅若干為標準，製成參考曲線圖表以供選用。

矽鋼片疊合後之鐵芯，有口字形、日字形兩式。單圈電感器之線圈可置於口形鐵芯之一邊或日形鐵芯之中間。多線圈之變壓器，則初、次級可以分繞，亦可疊繞。為免直流電成分通過線圈時引起鐵芯的磁飽和，每於鐵芯的閉合處酌留空氣隙（ *air gap* ），使當電流突然增高時酌增磁漏而免飽和，以維持電感量於一定的水準。

【聲頻變壓器】（ Audio frequency transformer ）

交流電源中濾波用抗流圈被稱為聲頻抗流圈（ *AFC* ），但交流電源之變壓器則稱為電力變壓器（ *power transformer* ）或電源變壓器。聲頻變壓器則被用以專指聲頻電路中使用之變壓器。聲頻變壓器之鐵芯矽鋼片，至少須採用每平方厘米有六萬線以上之磁通量者。大電力之聲頻變壓器，其鐵芯亦以酌留空氣隙為宜。

人的耳朵能感覺的聲頻範圍約為每秒 20～12,000 赫，所以理想的聲頻變壓器是要能把整個聲頻範圍的電能作均勻的傳遞。可是由於$X_L=2\pi fL$的關係，這是絕對不可能的，所幸有兩個因素，使聲頻變壓器的頻率應度（ *frequency response* ）並不需要過分嚴格的要求：一是多數成人的聽覺能力，對每秒 10,000 赫以上的聲音很難聽到，幼童的聽覺能力也不會超出 12,000 赫以上。二是普通的揚聲器（ *loud speaker* ），因機械構造關係，7,000 赫以上的聲音很難重發（ *reproduction* ）

。高傳眞式（*Hi-Fi*）擴音機除須在電路結構上大爲考究外，都用高音及低音揚聲器混合使用。所以普通的聲頻變壓器能在30～7,000赫內有比較平坦（*flat*）的響應曲線（*response curve*）已屬上乘，因爲即使廣播發射機的一般特性，也很難發出12,000赫以上的聲音，而事實上也無此必要。

聲頻變壓器由於其初、次級線圈具有固定的電感量和分佈電容量；換言之，即有其在聲頻範圍內的自然頻率。因此，對頻率相同的聲頻電能會引起尖峯諧振（*peak resonance*），而發生刺耳的聲音失眞(*distortion*)。失眞的原因，又可因變壓器的磁漏、直流磁化作用及匹配不當（*miss match*）等因素而造成，必須在設計和製造方法上予以補救。高級聲頻變壓器常採用初級和次級線圈的夾心繞法（*sandwich winding*），以減低分佈電容及漏磁。

在聲頻電子管放大電路中，爲免除第二諧波（*secondary harmonics*）的波形失眞，包括相位失眞及波幅失眞，每利用推挽式(*push-pull*)電路。推動（*driving*）此等電路，又須靠推挽式聲頻變壓器任其工作。推挽式變壓器之初級圈或次級圈上具有中心抽頭（*center tap*)，以供倒相(*phase inverting*)或分相(*phase splitting*)之用。其兩半線圈的特性必須平衡（*balance*），並力求線圈分佈電容之減小。故推挽式聲頻變壓器之製造，代表一種高級的技術。

聲頻變壓器視用於電子管放大器之輸入或輸出部分，而分別名之爲輸入變壓器（*input AFT*）或輸出變壓器（*output AFT*）。輸入變壓器必須適應前級電子管輸出部分之高總阻特性，而採用降壓式(*step down*)匝比。輸出變壓器則因其初級圈爲電子管的負載（*load*），其電感量與電子管的負載總阻成並聯關係，故其電感量應力求其大，其次級圈則因電子管的負載總阻成串聯關係，而應力求其漏磁之小，俾使響應曲線盡可能獲得平坦的特性。

聲頻變壓器以電能之完全傳遞爲主，其初、次級耦合度至密，且不能調節。對於失眞及電能損失之減小，庶在於製造方法之改良。自半導體發明後，電子裝置中之弱電力放大器部分，已可取電子管地位而代之。半導體的基本特性爲電流放大（*current amplification*），故變壓器耦合又大行其道，特以其電力至小；線圈匝數又極少，故除採用高磁通量之高級矽鋼片外，製作技術上不須特別考究。

【聲壓】（Sound pressure）

聲波在與其傳播方向相垂直的平面上所產生的壓力。聲壓是用來度量聲音的強度，聲壓的單位在絕對單位制裏叫做巴（*bar*），就是1平方厘米面積上受到1達因的壓力。

瞬時聲壓是指一點的瞬時總壓力減去該點的靜止壓力，有時稱爲剩餘壓力。通用的聲壓單位是微巴（*microbar*）。

在使用上，聲壓其實是指有效聲壓或均方根聲壓，它是某一點的聲壓在一段時間內的均方根值。若聲壓有週期性，則用來取均方根值的時間爲週期的整數倍，或遠較週期爲長的一段時間。若爲非週期性，則所取用以求平均値的時間須甚長，使時間稍有增減亦不致改變均方根的值。

人耳尙可聽見的最微弱的聲音，所對應的聲壓約爲0.0001巴。人耳尙能忍受而無刺痛感覺的最強烈的聲音，所對應的聲壓約爲1,000巴。

【臂】（Arm）

一力之臂爲該力的作用線與轉軸間的垂直距離。力偶之臂（稱爲力偶臂）則是該力偶的二力間的垂直距離。

【臨界方便】（Critical facility）

做臨界實驗所需的一些設備。

【臨界比容】（Critical specific volume）

在臨界壓力及溫度下，單位質量物質所佔之體積，則謂為其臨界比容。

【臨界分裂能量】（Critical fission energy）

根據波爾（*Bohr*）和惠勒（*J.A. Wheeler*）之發現，分裂一個釷核需要 7 *MeV*，但是捕獲一個緩慢中子所付出的能量只有 5 *MeV*。同樣地，鈾－238需要 6 *MeV* 纔能分裂，但是它捕獲一個緩慢中子只放出 5 *MeV* 的能量。存在於自然界中的原子核只有一種品類，其臨界分裂能量的低小，以致於一個緩慢中子的捕獲也能促使對裂。這種唯一的品類就是鈾的稀有同位素鈾－235，在天然鈾中為量極少，只佔 0.7%。在這種情形，一個緩慢中子的捕獲供給原子核以 6 *MeV* 的能量，而促使對裂所必須的能量卻只有 5 *MeV*。

【臨界反應器】（Critical reactor）

在反應器中，當產生中子之值與中子被吸收及逸出之和相等時，則自身持續的鏈反應不斷發生，中子通量保持一定，不隨時間改變，則謂之為反應器的臨界狀況。

反應器能否達到臨界狀況，除與反應器內分裂物質的總量和分佈情形有關外，尚與其幾何形狀有密切關係。一般計算反應器之臨界值的方法有兩大步驟：

1. 先計算反應器為無限大時的增殖因數，這僅與反應器的構成材料有關，而未涉及其幾何形狀及大小。

2. 再計算中子不自反應器中逸出的機率，包含與反應器幾何形狀的關係。

【臨界角】（Critical angle）

指波發生全反射時，折射角為 90° 時的入射角。光從光密介質射入光疏介質時，會折離法線。如果我們讓入射角一直增加，當入射角 θ 增加到 θ_c，而滿足下列的關係式：

$$\sin\theta_c = n_{21} \quad (n_{21} < 1)$$

時，司乃耳（*Snell*）定律告訴我們，折射角變成 $\sin\theta_2 = 1$，或 $\theta_2 = \frac{\pi}{2}$。折射線沿交界面射出。這時候的入射角 θ_c稱爲臨界角。如果讓入射角再增加，即大於臨界角，則 $\sin\theta_1 > n_{21}$，而 $\sin\theta_2 > 1$，這是不可能的。因此，這時候實際上已沒有折射光了。光即在界面呈全反射，我們稱這種現象爲全反射。茲列示幾種物質之臨界角如右：

物質	臨界角
水	48°36′
冰	50°20′
玻璃	41°50′
鑽石	24°25′

【臨界波】（Critical wave；Waveguide）

在一定截面的波導管內，能夠沒有顯著衰減而傳播的最長電波。波導管的橫截面尺寸越小，則臨界波波長越短。對於矩形截面的波導管來說，在最簡單的情況下，臨界波的波長等於波導管橫截面長壁的二倍。

【臨界狀態】（Critical state）

是指核反應器能維持鏈反應時的狀態。

參閱“增殖因數（*Multiplication factor*）”條。

【臨界係數】（Critical coefficient）

臨界溫度與臨界壓力的比值，謂之臨界係數。即

$$K = \frac{T_c}{P_c}$$

T_c 是臨界溫度，P_c 是臨界壓力。

【臨界柵壓】（Critical grid voltage）

三極充氣管之柵壓，如正電壓超逾此值，電子管即告損毀。

【臨界能量】（Threshold energy）

即底限能。

參閱“收能反應（*Endoergic reaction*）”條。

【臨界蛋白光】（Critical opalescence）

如由於熱膨脹係數爲無窮大，系統裏面任何一塊小質量的溫度增加一點的話，就會有極大的體積變化，因此密度就不均勻，引起散射的現象，使得物質看起來幾乎是不透明的，這就叫做臨界蛋白光。

【臨界動能】(Threshold kinetic energy)

高速粒子產生新粒子的最低能量。如以一個質子經加速器加速後，打入液態氫氣泡室內，產生新的粒子的臨界動能爲

$$T_p \geq 6m_p$$

式中m_p爲質子的質量。

【臨界場電阻】(Critical field resistance)

發電機之場電阻若超過臨界值，該電機即不能成立。

【臨界電阻】(Critical resistance)

振盪電路之電阻值，如超過LC平方根的二倍即不生振盪。

【臨界溫度】(Critical temperature)

使某氣體受壓而能夠液化的最高溫度，稱爲某氣體的臨界溫度。降溫加壓，是液化氣體的條件。但是只加壓，不一定能使氣體液化，尙要看當時氣體的溫度是否在臨界溫度以下。如果氣體溫度，超過臨界溫度，則無論所加壓力多大，也不能把氣體液化。

例如氮氣的臨界溫度爲$-147°C$，常溫都遠比它高，所以要使氮氣液化，必先使它冷卻至$-147°C$以下才可以，所以我們平常看不到液體氮氣。凡是臨界溫度很低的，例如氧、空氣、氫和氦等，都是極不容易液化的氣體。可是水蒸汽的臨界溫度爲$374°C$，遠比常溫爲高，因此平常水蒸汽極易冷卻成水。其他如乙醚、氨、二氧化碳等容易液化的氣體，它們的臨界溫度都比常溫爲高。

【臨界裝置】(Critical assembly)

臨界裝置是維持分裂鏈式反應（*chain reaction*）在極低功率階下所需之足量可裂材料和緩速劑的裝置。我們用它來研究在各種不同的

幾何排列下及不同的可裂材料下，裝置之各部分之狀態如何。

【臨界雷諾數】（Critical Reynold's number）

對湍流的發生可解釋如下：從那維爾、司托克士（*Navier-Stokes*）方程式之解所得的片流，在雷諾數R小時爲穩定，但R超過一定值R_c，則變成不穩定。即因某種原因而引起的擾亂，隨著時間而成長，以致破壞開始時的片流，而變爲湍流。R_c稱爲臨界雷諾數。

【臨界實驗】（Critical experiment）

此實驗用來證明或增補：由計算得的臨界尺寸及其他物理數據——它影響一個反應器的設計。實驗時，因爲反應器維持在很低的功率下操作，因此並不需要一個移熱系統。

【臨界耦合】（Critical coupling）

雙調諧耦合電路的耦合廻路諧振特性開始發生變化時的耦合係數的數值。在弱耦合（*weak coupling*）時，與單級廻路的情形一樣，諧振曲線有一個最大值。但到了某一相當強的耦合時，雙耦合廻路的諧振曲線上便出現兩個最大值（諧振曲線變成爲雙峯的），耦合係數的這一個數值就叫做臨界耦合。臨界耦合的大小是隨著廻路的性質及調諧情況而變化的。對於兩個調到同一頻率的相同的廻路來說，臨界耦合是當電力由一電路交到他電路能達到最大值者，亦稱爲理想的最佳耦合（*optimum coupling*）。超過此種耦合者，稱密耦合（*close coupling*），比臨界耦合爲小者，稱疏耦合（*loose coupling*）。

【臨界質量】（Critical mass）

又稱爲中肯質量。在穩定狀況下，維持自持鏈式反應所需之最少量可裂材料。

假定作用於一半徑R之球體，其逸出球外之中子數必比例於球體之表面積，即半徑之平方（R^2）。在鈾中呈現之中子數比例於其體積，即半徑之立方（R^3）。在質量中呈現之中子數與逸出之中子數比，亦

將比例於R^3/R^2 （即R），如半徑增加則此比例亦增大，而一旦用於裂變之中子數與逸出之中子數達到相等時，鏈式反應於是發生。

所謂臨界因次（*critic dimension*）及臨界質量乃發生鏈式反應所必須之因次及質量。低於此等條件者稱爲環境在“臨界以下”；高於此條件者稱爲環境在“臨界以上”。

臨界質量之值繫於甚多因素，環境之幾何性因素（球體爲最有利之型狀，因球體的體積／表面積之比最大），同位素^{235}U之濃度，具吸收性襍質之含量，中子緩速劑之存在，鈾在臨界質量中之分佈情形亦多少可以影響中子，且有部分趨向鈾的外在環境之性質等等。

【臨界頻率】（Critical frequency）

在某種條件下，能夠從電離層反射回到地面的最短無線電波的頻率。電離層的電離程度越大，電波在其中的折射就越強，能夠反射回到地面的電波就越短，因而無線電通信的臨界頻率也就越高。無線電通信的臨界頻率是電離層狀況的一個重要特性；知道了電離層的狀況，就能在該電離層狀況下，正確地選擇適用於某種距離通信的波長。

【臨界壓力】（Critical pressure）

在臨界溫度時，液化氣體所需之壓力，稱爲臨界壓力。即在$(\frac{\partial p}{\partial v})_T=(\frac{\partial^2 p}{\partial v^2})_T=0$時的壓力。

【臨界體積】（Critical volume）

參閱“凝結（*Condensation*）”條。

【薄透鏡】（Thin lens）

通常的光學儀器多是由好幾個透鏡組合起來的，將透鏡放在空氣中，來焦聚或發散光線；透鏡內有均勻的折射率n，兩邊則是折射率約等於1的空氣。如圖17—51所示，是一兩面有不同曲率半徑的透鏡。爲求自O點發出的光成像的情形，我們可以先不考慮第二面的存在，利用公式

$$\frac{n_1}{p}+\frac{n_2}{q}=\frac{(n_2-n_1)}{R}\quad (n_1=1,n_2=n,R=R_1)\ (1)$$

求入射光線在第一面的折射情形；我們發現光線將向O'點聚集。當這些光線到達第二面時，再度受到折射的作用；再利用（1）式，現在$n_1=n$，$n_2=1$，$R=-|R_2|$，則它們就聚集到O''點。即使有再多的曲面，只要利用這個原理，當光線經過一個折射面時，找一像點，再用這一像點作下一個面的物點（但當此物點落到折射面後時，物距應為負），這樣繼續求下去，就可以得到最後的像點了。有時候，我們處理一種兩面非常靠近的透鏡，即所謂的薄透鏡。在這種情況下，我們可以忽略因鏡的厚度而產生的差誤。現在我們要以薄稜鏡的偏光作用為出發點來討論。

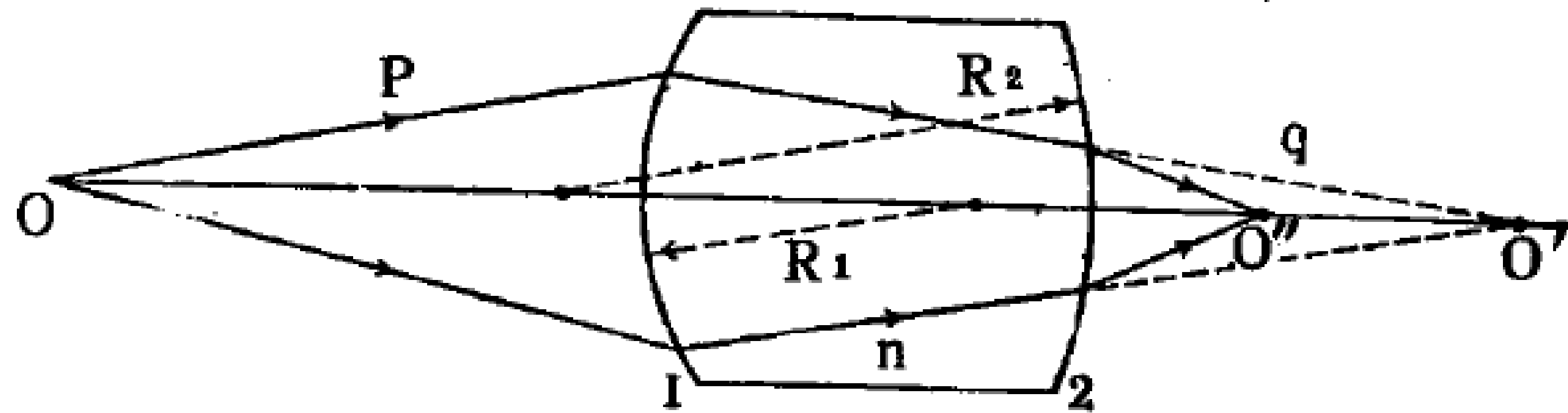


圖 17 — 51　雙折射面透鏡的成像

設一薄透鏡兩邊都是凸球面，且與對稱軸Z垂直（如圖 17 — 52）。一光線在距Z軸（或稱為主軸）高$y=h$（h比兩面的曲率半徑都小很多）處，平行射向透鏡。因為是薄透鏡，我們不僅可以忽略其厚度（和焦距比較），還可以不考慮光線通過透鏡時，高度y的變化。平行光經透鏡射出後與軸線的交點F，稱為此透鏡的焦點。在圖 17 — 52 中，我們發現入射光偏轉了一個小角度δ

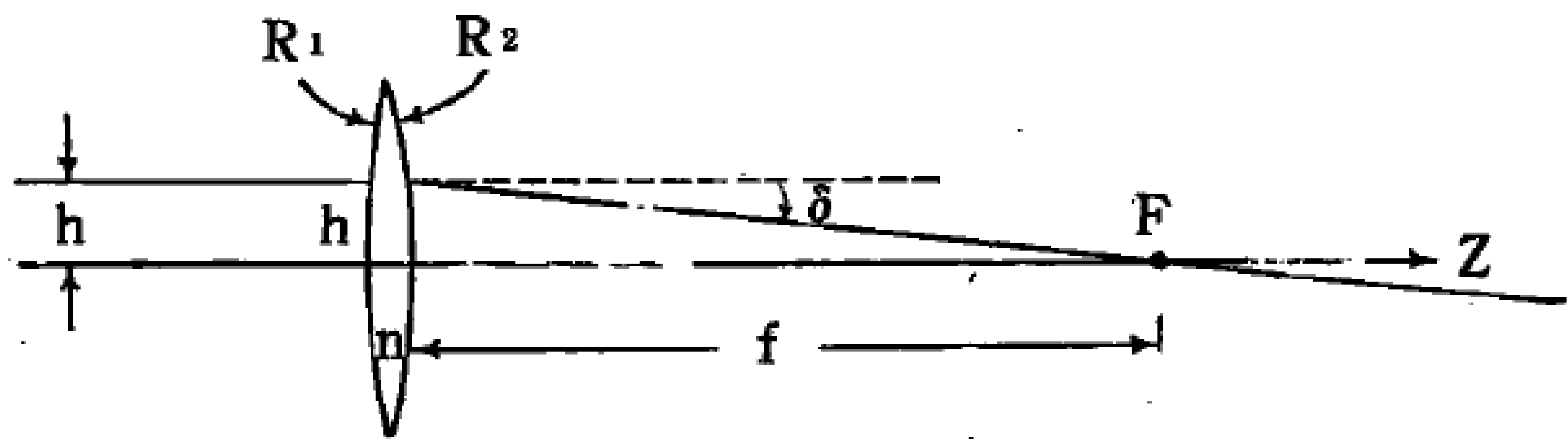


圖 17 — 52　薄透鏡的焦距

$$\delta=h/f$$

讓我們想像這個偏轉是由於一個相當的薄稜鏡造成的。當$h=0$時，這

個相當的稜鏡的楔形角$\alpha=0$。$h\neq 0$時，第一面約提供h/R_1角，第二面約提供h/R_2角；故整個相當的楔形角約為

$$\alpha=\frac{h}{R_1}+\frac{h}{R_2}$$

利用$\delta\approx(n-1)\alpha$，即可將此兩式聯立而得

$$\delta=\frac{h}{f}=(n-1)\alpha=(n-1)\left(\frac{h}{R_1}+\frac{h}{R_2}\right)$$

或消去h，得

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

這就是一般所謂的造鏡者的公式。f的大小是與h無關的。這是因為偏轉角總是和高度h成比例的。換句話說，所有近軸的平行光線，都會聚集到F點；而與其高度無關。且入射角很小時的偏轉角與入射角的大小無關。

透鏡的放大率分為横向放大率和縱向放大率，如圖17—53所示，透鏡的横向放大率為

$$m_{\perp}=-\frac{q}{p}=-\frac{f}{x}=-\frac{x'}{f}$$

負的放大率表示像是倒立的。而縱向放大率為

$$m_{\parallel}=\frac{dq}{dp}=-\frac{q^2}{p^2}=-(m_{\perp})^2$$

由此可知，縱向放大率和横向並不相等。這個結果使一物體經透鏡所成的像，與原來有不同的形狀。

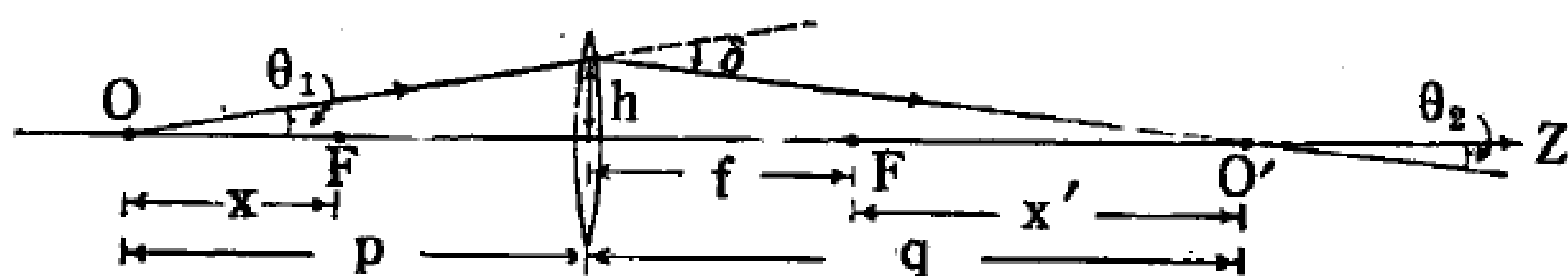


圖 17 — 53　物點的成像

現在我們再來求距透鏡前長 p 之物 O，成像於距鏡後長 q 之點 O' 的情形。在圖 17 — 53 中，將發自 O 點沿 $+Z$ 方向的一個向量連續轉過（定反時針方向爲正）$+\theta_1$、$-\delta$ 及 $+\theta_2$ 角，則此向量又會回到 $+Z$ 軸，故

$$\theta_1-\delta+\theta_2=0$$

但是 $\theta_1=h/p \quad \theta_2=h/q \quad \delta=h/f$

故

$$\frac{h}{f}=\frac{h}{p}+\frac{h}{q}$$

消去 h 即得

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad (2)$$

此即薄透鏡的成像公式。或令 $p=x+f$，$q=x'+f$（如圖 17 — 53），則（2）式亦可寫成

$$xx'=f^2$$

【薄稜鏡】（Thin prism）

指楔形角（頂角）α 很小的稜鏡。對於這種稜鏡，我們可以利用小角度的近似關係 $\cos\alpha\simeq1$，$\sin\alpha\simeq\alpha$ 等，來做一些計算。一單色平面光波以接近法線的方向透過此稜鏡後，進行的方向會偏向稜鏡底邊（如圖17—54）。其偏向角 δ 的大小約爲 $\delta\approx(n-1)\alpha$，與入射角的大小無關（但入射角須小到可以用小角度的近似關係）。從圖中我們可以看出，在稜鏡底的波前以 c/n 的速率走過 l 的距離（即其光程爲 nl）時，在鏡頂的同一波前以 c 的速率走 nl 的距離。所以，在頂點的波前超前了 $(n-1)l$ 的距離。除以稜鏡的寬度 w，即得偏向角

$$\delta\approx(n-1)l\cdot\frac{1}{w}=(n-1)\alpha$$

有了這個關係，我們就可以用來求薄透鏡成像的公式了。

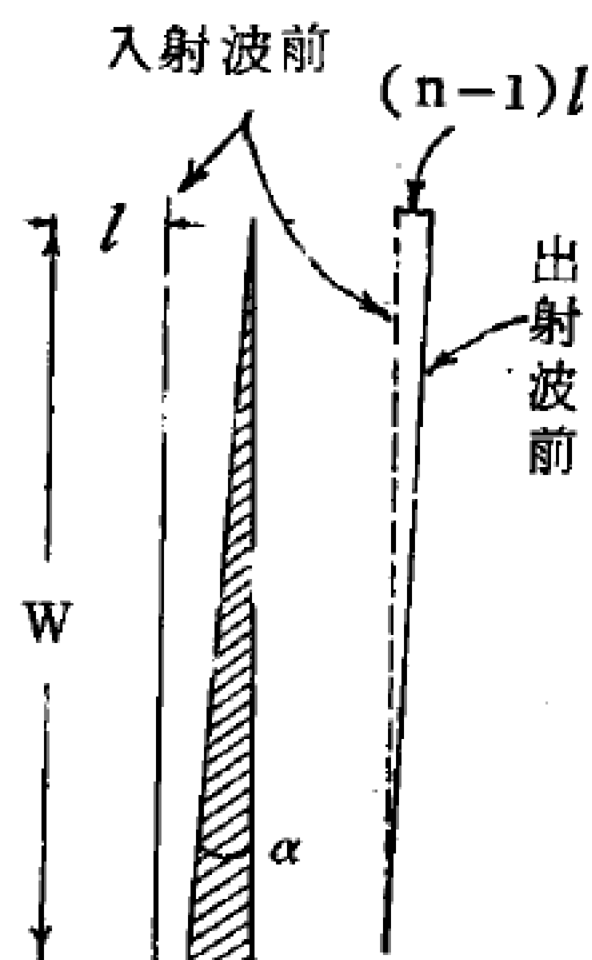


圖 17 — 54
薄稜鏡的偏光作用

【薄膜干涉】(Thin-film interference)

飄浮在水面上的薄油層，機動車輛在潮濕柏油道上所遺留下來的油滴，或是肥皂泡等，都會在白光中現出燦爛的彩色。又如在無色玻璃杯的隆起處，也會發生此種現象。還有被薄薄的氧化層掩蓋著的鋼鐵，顯示出變化無定的色澤，也是屬於這種情形。在所有上述各例中，所涉及者均屬透明物體的薄膜，這些薄膜在黑暗背景的襯托下受到白光照射並予反射，因而顯示出彩色現象，此一現象一般稱之爲薄膜干涉。

倘將一用金屬細絲製成之矩形框架，浸以肥皂水而形成一層薄膜，然後使弧光燈的白光或日光斜向照射於其上，結果便爲一典型的薄膜例子。於是一部分的光會受到反射，而其餘的則從皂液膜中透過去。此際在框架的上緣附近，可看到反射光中出現許多彩色繽紛且與水平框架上緣平行的橫條紋。不但如此，這些橫條紋還會慢慢地向下移動，愈靠近框架上緣者則愈寬。至於透過的光，則在白幕上同樣顯示出許多彩色橫條紋來，但較諸反射光中所呈現者，卻黯淡得多了。倘若使用單色光來代替白光，則彩色現象便會立即消失，代之而起的將是一些平行的明暗相間的條紋。

1800年英國科學家楊格(*Young*)指出薄膜彩色之形成，乃因干涉現象所致。如圖17—55，由遠處光源的平行單色光線，斜射於厚度爲d之皂液薄膜P_1P_2上。照射於A處之光線S(實際上不僅是一條光線而總是一個光束)，一部分立被反射，而另一部分則折向B處。反射部分係以S_1來表示，折射至B處者又會照樣地有一部分立被反射，及另一部分被折射。後者乃用S_3來表示。被反射的光線抵達C處，又在該處分爲二部分，一部分折射爲平行於S_1之S_2，另一部分被反

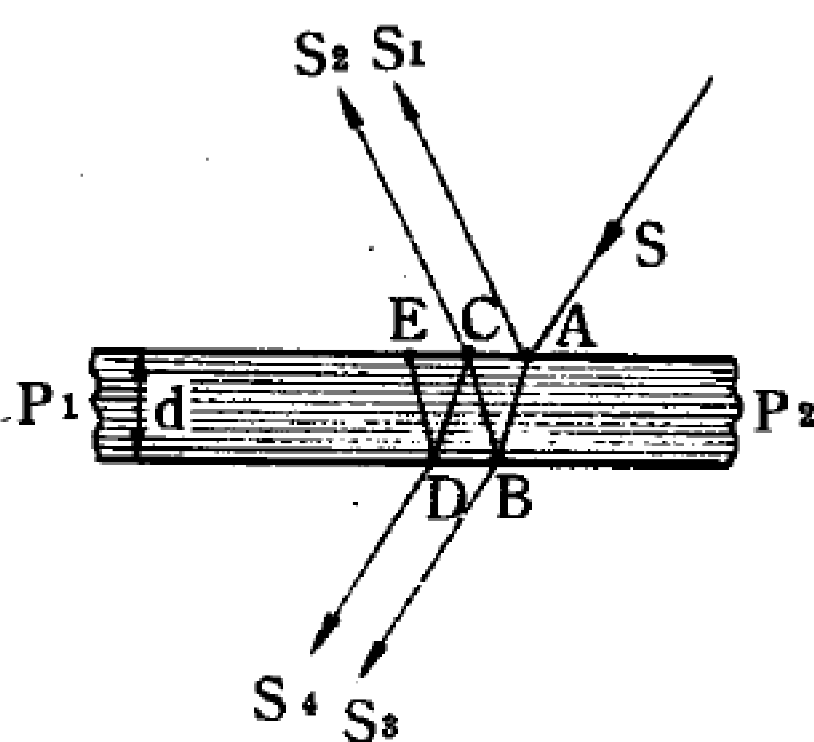


圖 17 — 55
薄膜上光之干涉現象

射後則循 CD 路線而抵達 D 處。然後再在該處被分爲二部分，一部分折射爲平行於 S_3 之 S_4，另一部分則被反射至 E 處。

關於薄膜上所發生之干涉現象（單色光），可歸納如下：

1. 當薄膜的二倍厚度 $2d$ 剛好是半個波長的偶數倍時，則在反射光線中就會發生抵銷現象（黑暗條紋）；反之，若 $2d$ 剛好等於半個波長的奇數倍，則在反射光線中就會發生加強現象（明亮條紋）。

2. 當薄膜的二倍厚度 $2d$ 剛好是半個波長的奇數倍時，則在透過光線中就會發生抵銷現象（黑暗條紋）；反之，若 $2d$ 剛好等於半個波長的偶數倍，則在透過光線中就會發生加強現象（明亮條紋）。

根據上述還可獲知如下之結果：倘若其厚度 d 依次以 $\frac{\lambda}{4}$ 而變更，則在上述二情況中可發生黑暗條紋與明亮條紋的更迭現象。

若入射線爲非單色者，對每一波長 λ 就必須有不同的薄膜厚度，以滿足上列條件，這可說明水面浮油薄膜之色彩現象。若薄膜之厚度係變更者，對一已知波長言，最大反射，最小輸送；最大傳輸，最小反射條件並不能在所有的一切點上均能滿足；結果，在單色光的情況，薄膜呈現暗帶與明帶系列，而在白光的情況，薄膜呈現一彩色帶系列；這現象易於見到，藉著置放一平凸透鏡於一平板玻璃上，如圖 17—56 所示，透鏡與平板玻璃間之空隙係厚度變更的一層空氣，干涉條紋由一系列的同心色彩圓環所組成，稱爲牛頓圈（*Newton's rings*）。

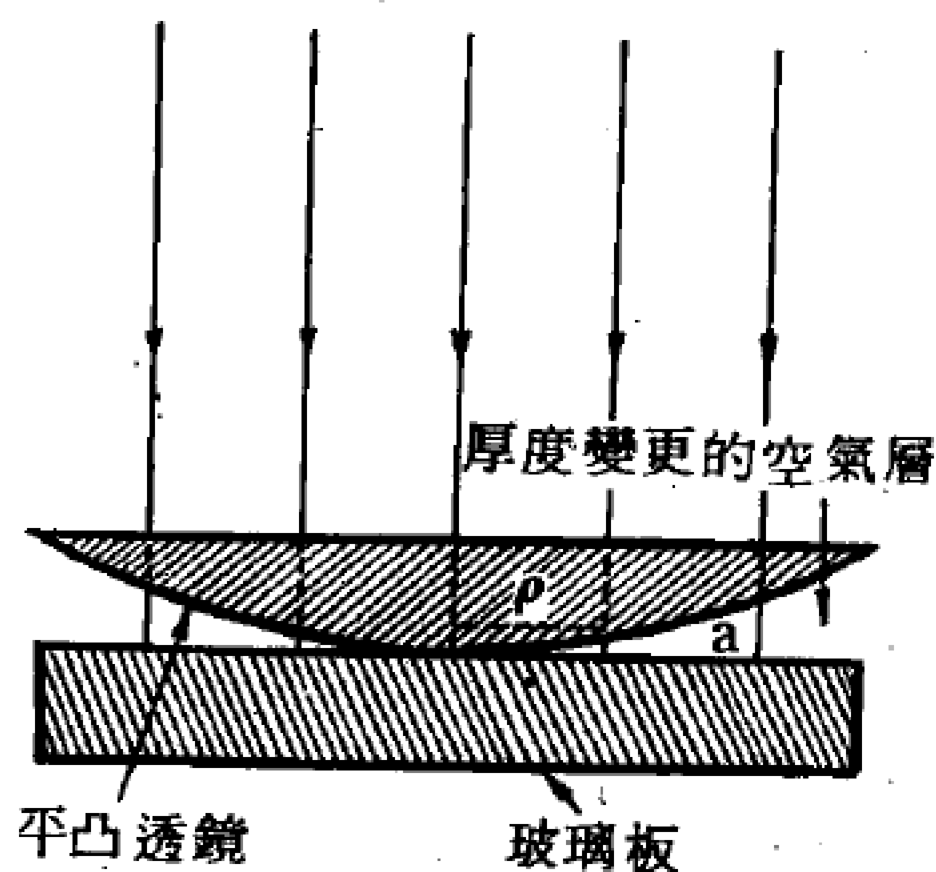


圖 17 — 56

【薄膜電晶體】（Thin-film transistor）

若在積體線路中使用非半導體物質製成某些組元，則可增加線路的變異性，而有各種不同的線路產生。例如把傳導性不同的半導體薄膜，

摻雜在金屬或絕緣薄膜中，即可大爲增進設計上的伸縮性。但金屬及絕緣體等的晶體，結構相似性不大，便無法使用單晶體薄膜，因無法利用澱積法生成晶體之故，因此必須使用複晶體。使用這些物質可以製成薄膜電晶體，這種電晶體比單晶電晶體便宜，但性能較差。這種薄膜單元與一般的電晶體有一個十分重要的區別。因爲複晶體的原子排列較爲雜亂，於是就生成某些一般電晶體內所沒有的能階，因此裝置內的注入攜電者，只能有極短距離的運動，就在這種能階復合而消失。因此一般說來，我們無法利用這些攜電者。換句話說，必須運用某種方法來控制攜電者的運動以達成放大效用。

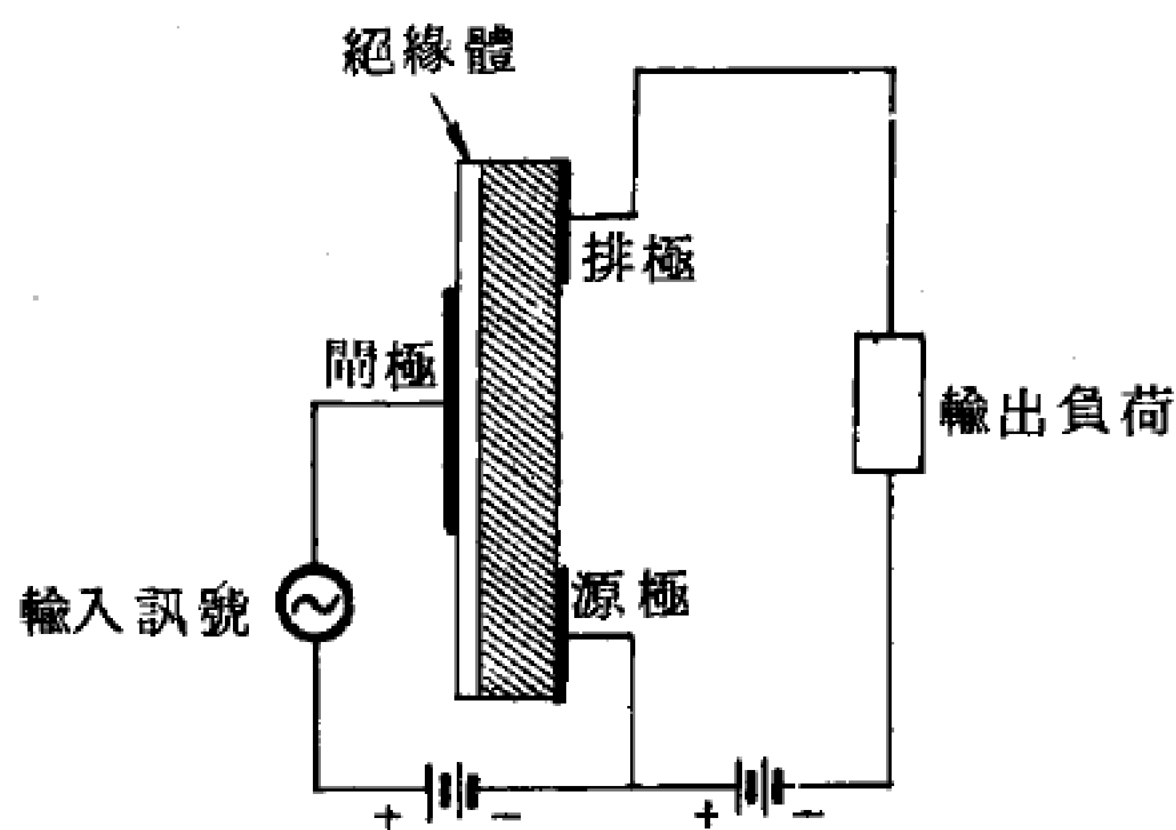


圖 17 — 57　電場影響下的電晶體

這種控制技術（如圖 17 — 57），可以在一片半導體（矽 *Si* 或硫化鎘 *CdS*）薄膜上裝上兩個電極接觸點，其中之一叫做源極接觸點（*source contact*），另一個叫做排極接觸點（*drain contact*）。在源極及排極之間加裝一個稱爲閘極（*gate electrode*）的金屬電極，再用一片絕緣薄膜把閘極與半導體分隔開。若將源極、排極與電源及輸出負載電阻串聯在一起，半導體內就有電子流向排極。此時若把閘極與另一電池相聯，則會在半導體中生成一個閘極電場，於是它就會影響半導體內的正常電子流。當閘極的電位因輸入訊號而有所改變時，電場就會改變，而使晶體的電流發生變化，接著就有電流流過負載電阻器，這種裝置通常稱爲場致效應電晶體（*field-effect transistor*）。在理想狀況下，閘極線路內沒有電流流通，這就表示輸入功率小而輸出功率大，因此產生動力放大。

若半導體中可動電子含量甚小時，這種裝置的工作狀況最好，因爲電場對擋電者的影響較爲有效。但是這時因爲電流甚微，而致雜散漏流（*stray leakage current*）干擾正常操作。若使用內稟硫化鎘來製造半導體薄膜，則有一種能增進操作狀況的新現象發生。在暗處，內稟硫化鎘半導體與絕緣體十分相近，所以在普通情形下，只能有極微弱的電流。若增高源極與排極間的電位差，就有多量電子自源極傾瀉入硫化鎘體內，它們由源極流經閘極而到達排極，此時控制閘極電壓就能產生放大作用。

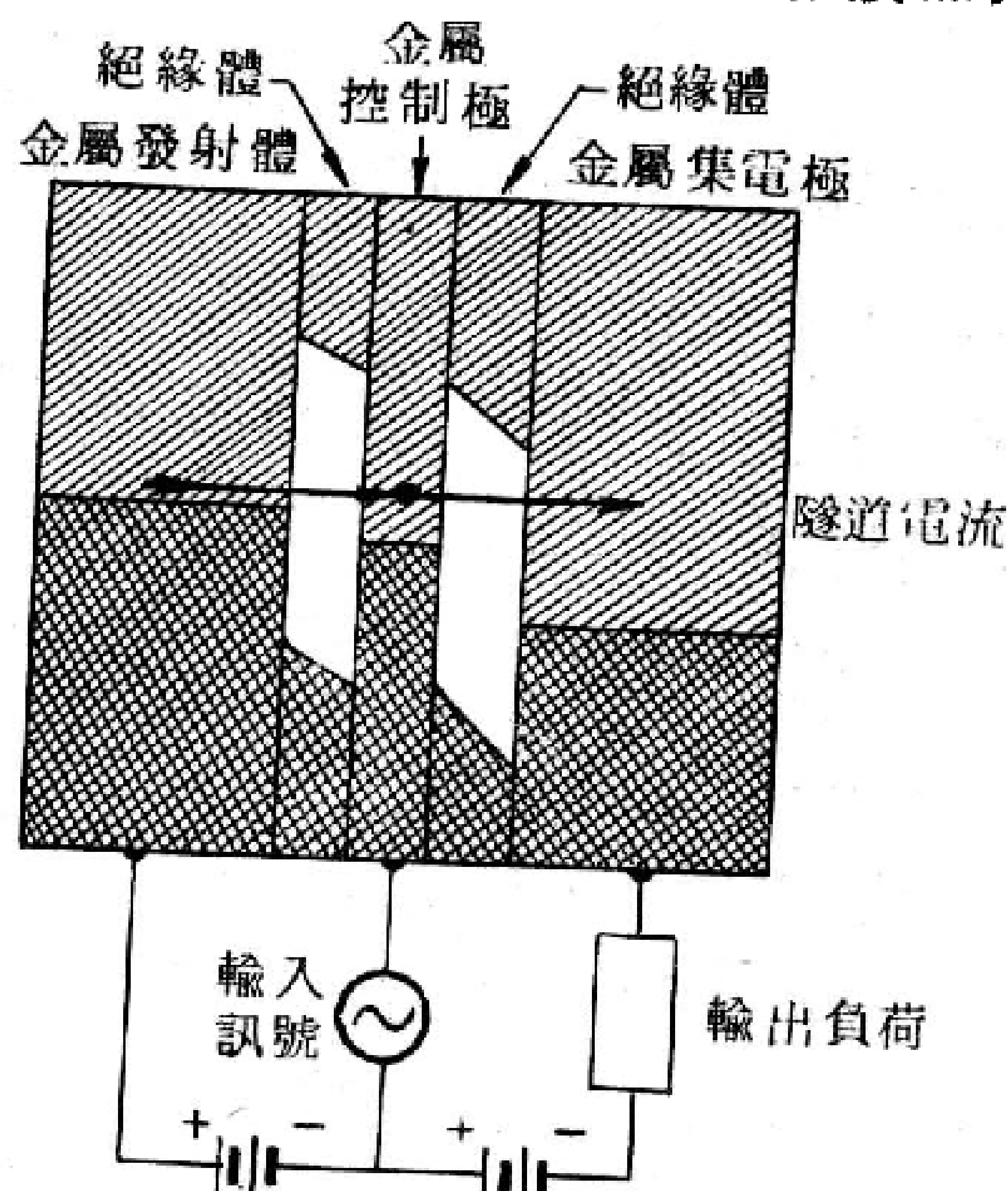


圖 17 — 58
金屬接觸面放大器的能帶模型

瀉入硫化鎘絕緣體內的電子來自體外，而在正常狀況下它們不會出現。同時即使有電子流時，也不會在絕緣體內產生空穴，因此它們不會因復合躍遷而消失，這種種都與電子注入 *P-N* 接頭的情形不同。絕緣體內的這種電流稱爲有限空間電荷流（*space charge limited flow*），它的強度由傾注電流的電荷來決定。且不爲等量帶正電荷的空穴所平衡，這一切現象都與眞空管的情形十分近似。眞空管中是由絲極放射電子，進入眞空中並流向板極，絕緣體（*CdS* 或眞空）都不能給電流以任何助益，而只作爲電子的通路而已。故硫化鎘薄膜可以稱爲導電絕緣體（*conducting insulator*）。

有限空間電荷流，在薄膜單元內用途極大。即使當電流甚大時，閘極電壓仍能完美地控制電流流量。同時電流主要由高速運動的少量電子構成，而處理這些少量電子卻不太難。此外硫化鎘不含可動電子，因此它不會干擾電場，而使閘極電場能穿透入絕緣體內，因而強烈影響電子

流。

另有一型薄膜電晶體，由交變的金屬與絕緣體薄層組成（如圖17—58）。這種裝置中，一片厚度極小的金屬膜，用另外兩片厚度相同的絕緣薄膜與其他金屬部分分隔。絕緣薄膜的厚度應該極小，使得電子能借隧道效應穿透薄膜而進入金屬膜中，再利用隧道效應穿入金屬集電極。若加一偏壓電壓使控制極的費米能階略低於集電極中的費米能階，則有隧道電子流自發射體流入集電極；若情況恰好相反時，控制極內的飽和能態比發射體爲高，電子即不能穿入控制極，而使電流減弱。若輸入一電訊而使控制極的電壓改變時，集電極的電流也就跟著改變。現在這種金屬接面放大器雖已發展成功，但操作狀況並不理想。因爲控制極必須做得極薄，否則發射體放出的隧道電子，會停留在這一中間層內，而不能到達集電極，這種情形使製造上發生困難。

薄膜電晶體尙在發展的初步階段，現在這類裝置，可以使用眞空澱積法來製取，但尙無法製出均勻完美的薄膜。在這種工業中，把作爲薄膜的物質在眞空中加熱使之汽化，當這種氣體原子與較冷的物質表面相遇時，它們就在這種物質的表面上凝成薄膜。薄膜的厚度可由汽化時間決定，若眞空室內具有大量這種蒸氣源（*vapor source*），則能在物質表面澱積出多種不同的薄膜，同時鍍膜技術也能用來製造電阻器、電容器、電晶體等所需要的各種不同幾何形狀，可見這種種技術的伸縮性極大。時至今日，完美的薄膜尙無法製成，而在金屬接面放大器裝置中，問題更是層出不窮。例如絕緣薄膜上一個極小的針孔，即可嚴重損害操作性能，也許薄膜澱積技術的更進一步發展，將使薄膜線路的製法改善。

【薛丁格】（Erwin Schrödinger 1887—1961）

奧國人，1887年八月十二日生於維也納，1910年取得維也納大學博士學位。先後在維也納、蘇黎世等地任敎。1926年將法人德布洛利

(*De Broglie*)的物質波觀念用數學表示，得到量子力學中最基本的薛丁格方程式，因而獲1933年諾貝爾物理學獎。1928年繼浦朗克退休出任柏林大學物理學系主任。由於納粹黨得勢，1933年離德赴英國牛津之一學院任客座教授。1936年回奧國任大學教授，至奧國被納粹德國合併後，先短期訪問美國，後長期定居愛爾蘭，1940年任愛爾蘭皇家學院教授及都柏林高等研究院資深教授。曾企圖推廣愛因斯坦的重力場論到包括電磁場，並嘗試對生命現象用純物理觀念解釋。1944年著“什麼是生命”一書，強調基因是有生命的細胞中最重要的成分，要了解生命須先了解基因如何工作。此書影響很大，英人克立克(*Crick*)於1946年讀此書後，決定改行由物理學轉分子生物學，於1953年與華特生(*Watson*)在劍橋大學卡分地西實驗室發現基因之主要成分核酸的結構，而獲1962年諾貝爾醫學獎。薛丁格於1956年返維也納大學任教授，1961年元月四日逝於維也納。

【薛丁格方程式】(Schrödinger equation)

薛丁格方程式爲量子力學中粒子運動的基本方程式，其理論中心是一物理系統中的特定能量，可藉一波動方程式求出。此方程式的形式爲

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+v(\vec{r},t)\right]\psi(\vec{r},t)=i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(\vec{r},t) \qquad (1)$$

式中$\left[-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+v(\vec{r},t)\right]$稱爲漢彌頓算符，$\psi(\vec{r},t)$是波函數。

在古典力學中，動量和能量的關係爲

$$E=\frac{p^2}{2m}+v(\vec{r},t)$$

式中E爲總能量，p爲動量，$v(\vec{r},t)$爲位能。

平面波通常以$e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)}$表示，$\vec{k}$爲波向量，$\omega$爲頻率。依照德布洛

利的假設，粒子可爲物質波，則

$$\vec{p}=\hbar\vec{k} \qquad E=\hbar\omega$$

故平面波可以寫成

$$e^{+\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)}$$

直接就此平面波微分，則得

$$\left(-i\hbar\frac{\partial}{\partial x}\right)e^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)}=(\,px\,)\;e^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)}$$

$$\left(i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\right)e^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)}=Ee^{\frac{i}{\hbar}(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)}$$

因此動量$\vec{p}$與能量E，可以分別視爲算符$-i\hbar\nabla$和$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$。因而

$$\frac{p^2}{2m}+v(\vec{r},t)\rightarrow\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2+v(\vec{r},t)$$

$$E\rightarrow i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$$

薛丁格方程式則由此算符的代換形式，而假設其有波動方程式的形式，以上並非證明薛丁格方程式可由此推導，只是以類比的方法表示思考的過程。

1926年薛丁格所提出的自由質點的波動方程式爲

$$\nabla\phi+\frac{8\pi^2 m}{h^2}E\phi=0$$

而在力場內作運動的質點的波動方程式，由上述即可推得之。設質點之位能爲U，動能爲T，其總能量E顯然爲$T+U$。就自由質點言$E=T$，故力場內運動質點之波動方程式爲

$$\nabla\phi+\frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-U)\phi=0 \qquad (2)$$

（2）式乃爲狹義的薛丁格方程式，而（1）式則爲廣義的薛丁格方程式。量子力學利用薛丁格波動方程式及統計理論的方式來說明電子的運動。但此波動方程式應不能述及粒子的位置和速度的肯定值，而只能

述及其可能值（*probable value*），並應適合海森堡測不準原理。其次為求合乎物理的意義，滿足波動方程式之波動函數，在變動的全部區域內，必須為有限的（*finite*）、單值的（*singled valued*）及連續的（*continuous*）。

【蔔子】（Quark）

迄今尚未發現存在而用以解釋基本粒子對稱性質的假設物。蔔子之名是葛爾曼（*Gell-Mann*）在愛爾蘭文學家喬伊斯（*W. James Joyce*）的意識流名著“斐尼更大夢初醒”（*Finnegans Wake*）一書中引用而來。他們假定重子和介子是由一些更基本的粒子（即蔔子）緊緊束縛在一起造成的。蔔子有三種，所帶的電荷分別是 e（質子電荷）的 $\frac{2}{3}$、$\frac{1}{3}$、$\frac{1}{3}$，它們的重子數是 $\frac{1}{3}$。質子和中子都是由三個蔔子組成的，介子則由數目相等的蔔子和反蔔子所組成。由於重子數和電荷守恆律的限制，三種蔔子中最輕的一種必須是穩定的。他們的理論可以解釋為何重子和介子可以用數學上的 $SU(3)$ 群予以分類。由於這個群有八個算符，應用到物理上就是八個量子數。葛爾曼將他的理論取名為八正道（*the eightfold way*），乃是根據佛祖向弟子傳授八正道（正見、正思維、正語、正業、正命、正精進、正念、正定）以免除煩惱痛苦而來。八正道將所有的重子或介子依照它們的自旋和宇稱性有系統的分成許多小組，葛爾曼和大久保由群論導出一公式以表示同一小組內各粒子的質量間的關係，稱為葛爾曼、大久保質量公式（*Gell-Mann Okubo mass*

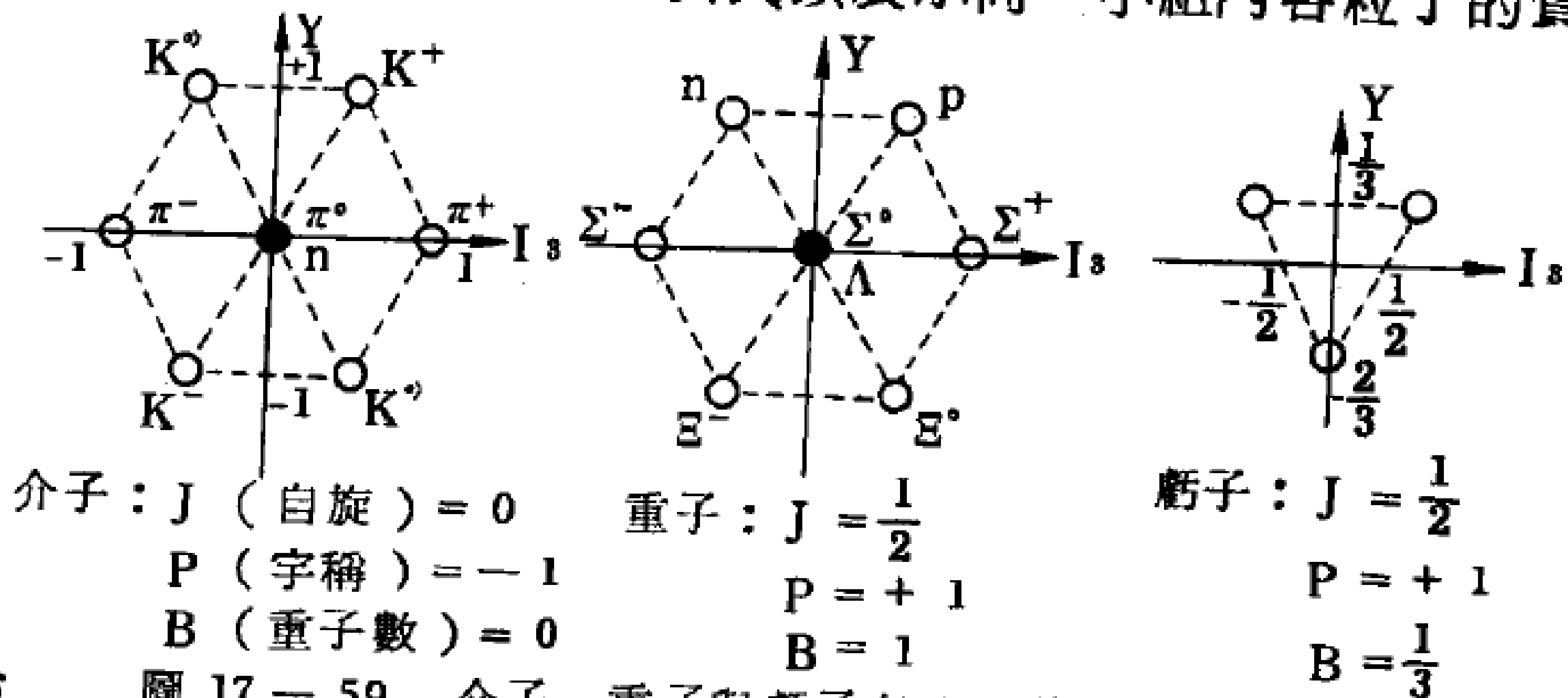


圖 17 — 59　介子、重子與蔔子在八正道內的排列

formula）：

$$M = a + bY + c\left[I(I+1) - \frac{1}{4}Y^2 \right]$$

I 是粒子的同位旋，Y 是超電荷，a、b 和 c 是隨小組而不同的常數，M 表質量（重子時）或質量平方（介子時），例如：

$$\frac{3}{2}M(\Lambda) + \frac{1}{2}M(\Sigma) = M(N) + M(\Xi)$$

$$4M(K) = 3M(n) + M(\pi)$$

重子、介子和虧子在八正道內的排列如（圖 17－59）、（圖 17－60）所示。

$$I_3 = \text{同位旋之分量} = \text{電荷} - \frac{1}{2}B$$

因爲這些粒子一方面還沒有被實驗證實，一方面葛爾曼等人也並不太注重這種說法的眞實性，而僅看重它群論方面的表現，所以這種理論，雖然被一般的物理學家們接受爲很方便的假設，可是並不被認爲是解決“現在所謂的基本粒子是否眞地基本”這個問題的答案。

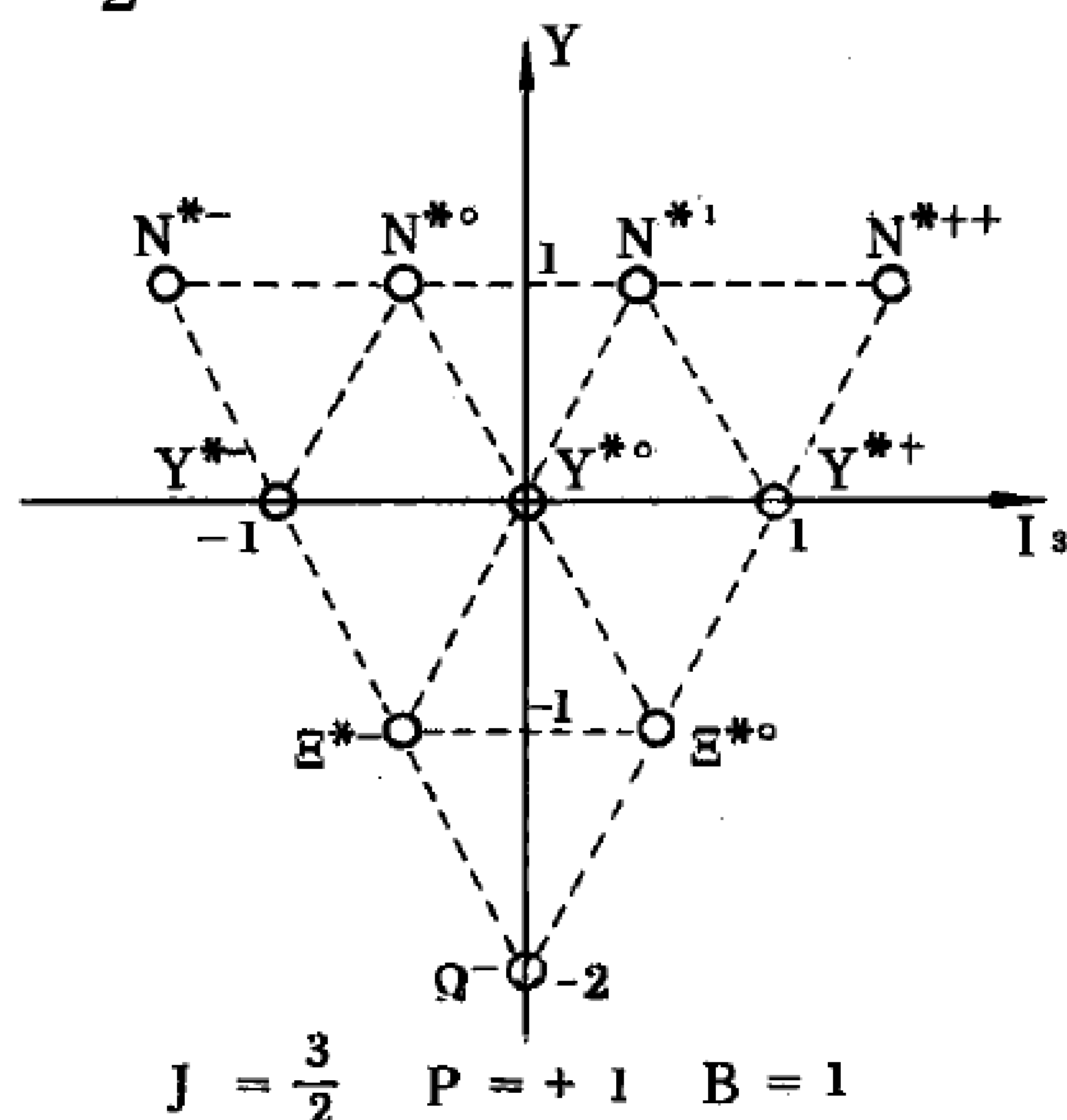


圖 17 — 60　重子

【螺旋】（Screw）

螺旋爲盤旋於圓柱體上之斜面。如圖 17－61(*a*)，用直角三角形的紙捲繞在圓桿時，三角形的斜邊就繞著圓桿成螺旋紋曲線。此種斜面邊緣於圓桿上所形成的曲線，叫做螺紋（*screw thread*）。螺旋分陽螺旋和陰螺旋兩種（如圖 17－61(*b*)），螺紋刻在圓柱外側的是陽螺旋，螺紋刻在中空圓柱之內側者爲陰螺旋或稱母螺旋。圓桿上斜面的高度，即螺紋的峯與峯之間的距離

叫做螺距（*pitch*）。螺旋轉動一週，就向軸方向前進或後退一螺距。

螺旋具有和其螺紋斜角相等的劈一樣的作用。使螺旋作如圖17—61(*c*)所示的旋轉，就相當於對斜面施加斜方向的力（平行於底面的力）。設*OF*爲旋轉螺旋的外力，*OQ*爲推陰螺旋的力，*OR*則爲使螺旋向前進的方向推的力。因*OR*比*OF*大，所以用小小的旋轉力，即可在螺旋前進的方向產生很大的力。

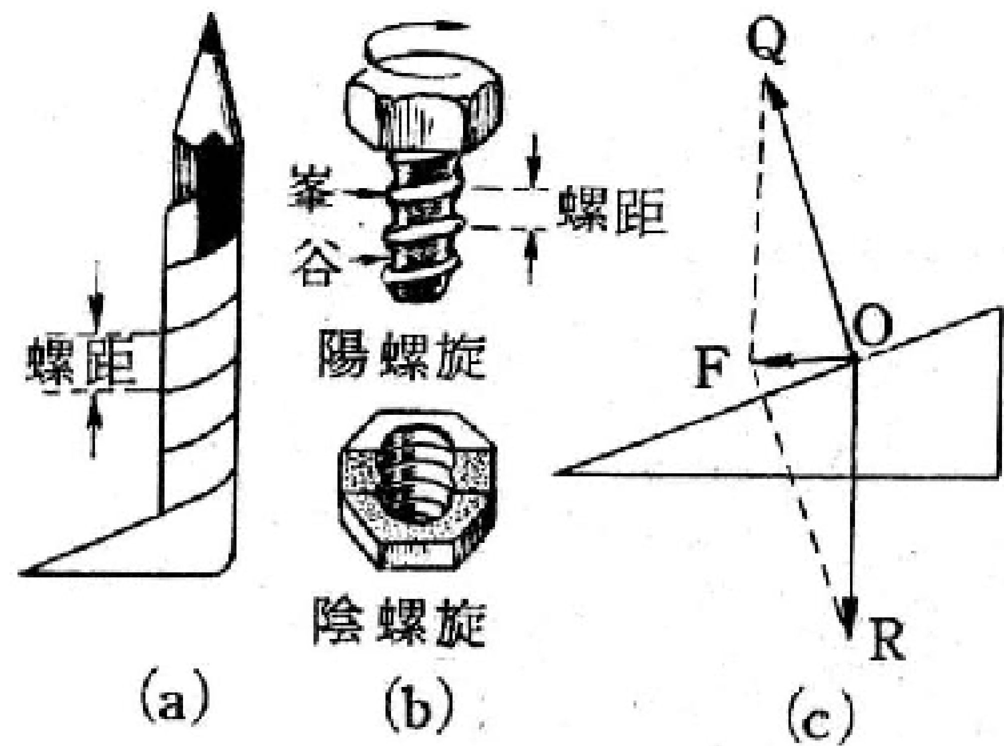


圖 17 — 61

由於螺旋是用小小的旋轉力，可在軸方向發生大的力，又旋轉一次，前進或後退的距離一定，因此，可以利用這些性質來固定東西，使發生大的力量，或用來正確測量長度。因螺旋往往是和槓桿連結在一起，所以用途至爲廣泛。例如螺旋夾、老虎鉗、木螺釘旋、拔塞器、螺旋壓床以及常用的螺旋起重器等。

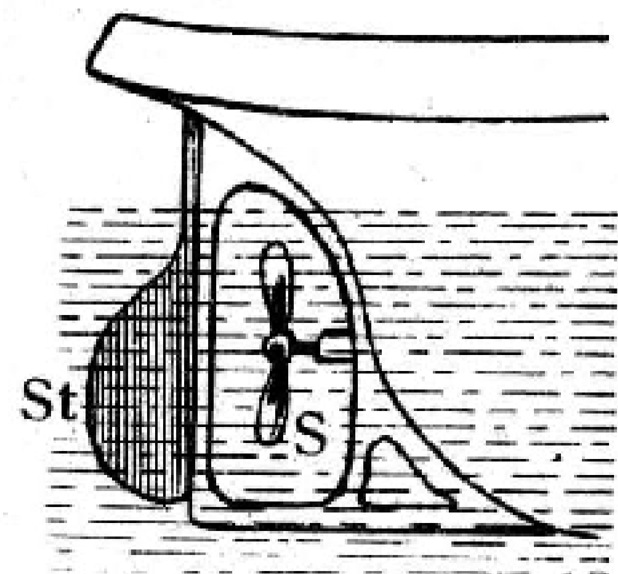
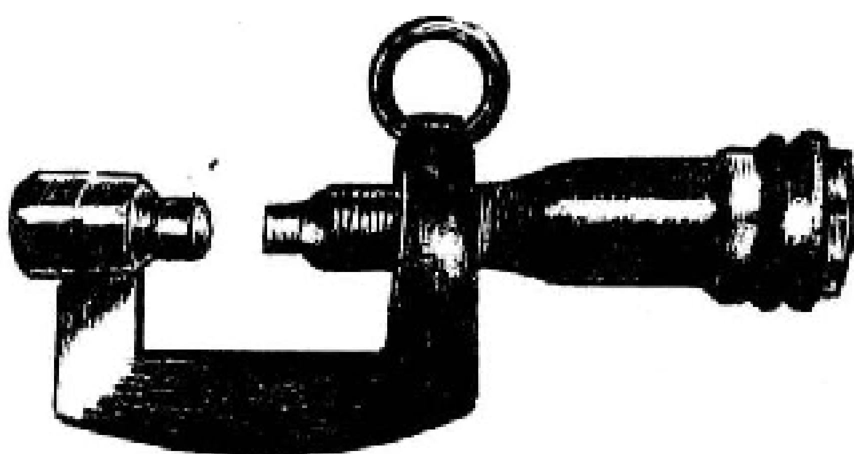


圖 17 — 62
船用螺旋推進器

他如船用螺旋推進器和螺旋槳均爲特殊形式之螺旋。船用螺旋推進器裝在船尾之船壁和船舵*St*之間（如圖17—62），係由兩個或三個槳葉做成；而這些槳葉就如同從螺旋面上切出之片段一般。當我們轉動木螺釘時，木螺釘便沿著其軸心方向在木料中前進；螺旋推進器情形與此相仿，它在四圍之水中向前鑽動，遂能推船前進。航空螺旋推進器亦稱爲螺旋槳，其作用與此相似。


圖 17 — 63　螺桿測微計

螺旋用作測量目的時，譬如在螺桿

測微計上，亦能顯出其優點（如圖 17—63）。螺桿測微計之螺距爲 1 毫米，螺桿頭係與一中空之圓柱體連結在一起，而後者則可在一個刻劃在母螺旋上的毫米標上移動；至於在中空圓柱體的外緣上，則另刻有 100 等分。每當螺桿轉動一整圈時，此 100 分度便滑過 1 毫米之長的分格，因此，我們就可以讀出每百分之一轉，也就是能夠準確地量出 0.01 毫米之長度。至於所欲測量物則係放置在螺桿端面與另一支座之間。

【螺旋自旋序】（Helical spin order）

爲了解釋二氧化錳的磁性，有人提出這種模型，因爲它使能量有個極小值。設有一系列相同的自旋，如圖 17 — 64(*a*)，每個相距 a，繞著 z 軸旋進。自(*b*)圖看，每個自旋旋進的速度相同，而且比前面一個落後相同的角度。相鄰兩自旋的作用力是鐵磁交換作用 J，中間隔一自旋之兩自旋的作用力是反鐵磁交換作用 $-\epsilon J$，如圖 (*c*) 所示，能量的形式應爲

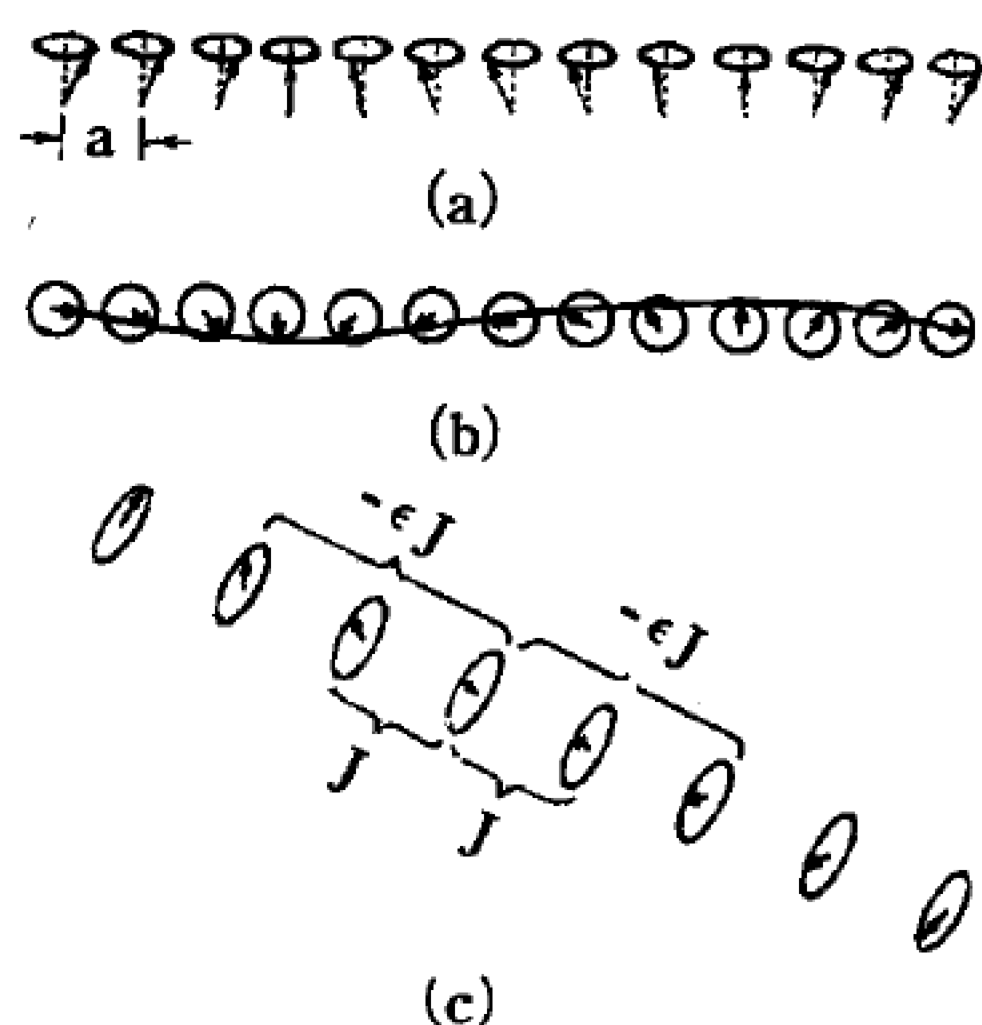


圖 17 — 64

$$U = -2J\left(\sum_n \vec{S}_n \cdot \vec{S}_{n+1} - \epsilon \sum_n \vec{S}_n \cdot \vec{S}_{n+2}\right)$$

如相鄰兩自旋向量間的夾角爲 θ，自旋總數爲 N，則

$$U = -2JNS^2(\cos\theta - \epsilon\cos 2\theta)$$

當 $$\frac{\partial U}{\partial \theta} = 2JNS^2(\sin\theta - 2\epsilon\sin 2\theta) = 0$$

時，U 有極值，解之得 $\epsilon = 1/4\cos\theta$，即

$$\theta = \cos^{-1}(1/4\epsilon)$$

當 $1/4\epsilon$ 小於 1 時，θ 有解，即得 $-u$ 的極值。

【螺旋式掃描】（Helical scanning）

雷達使用集中的電波注向四面八方掃探目標物，其工作稱爲掃描。螺旋式的掃描比較繁複，波注在圓形平面內旋轉，又在垂直方面旋轉時，每轉上半部應與前一轉的下半部相疊。

【螺旋率】(Helicity)

限於自旋爲$\frac{1}{2}$的粒子，可以將它的自旋角動量用粒子動量$\vec{p}$的方向來量子化。由此得到兩個自旋態，其m_s爲$+\frac{1}{2}$的態，我們定義其螺旋率爲$H=+1$，對另一狀態$H=-1$。大略地說，正螺旋率是說自旋的方向指向其動量的方向。

通常的粒子（尤其是在靜止的坐標系統內），不會在純粹的螺旋率上。換言之，通常的粒子態爲兩種螺旋性態的組合，而且由於$\vec{p}$的方向可能在一個羅倫玆變換下改變，因此其組合的成分也會受羅倫玆變換的影響。可是，對於靜止質量爲零的粒子（如兩種微子），如果粒子本來在一個螺旋率上，則經過任何羅倫玆變換，其螺旋率不改變。

由實驗證明，ν_e與ν_μ都只有$H=-1$的狀態，$\bar{\nu}_e$與$\bar{\nu}_\mu$則只有$H=+1$的狀態。這和宇稱的不守恆是有關的。

【螺旋態】(Helicity states)

一自旋爲n的粒子，若其自旋角動量沿運動方向的分量恰爲n，$n-1$，$\cdots-n+1$，$-n$各數值之一，而非其預期值，則這種量子態稱爲該粒子的螺旋態，該分量的數值稱爲螺旋率（*helicity*）。自旋爲n之無質量粒子（如光子、微中子）的螺旋率必須是n或$-n$。

【螺旋線】(Helix)

以參數方程表示爲$x=a\cos\theta$，$y=a\sin\theta$，$z=b\theta$。

【螺旋彈簧】(Helical spring)

螺旋彈簧的利用範圍很廣，如虎克定律的實驗、喬里彈簧秤等。極少因使用不愼，彈簧被拉過長而致損壞。並依其使用目的，可以做強度不同的彈簧。在工廠是用鋼琴線經過熱處理後製作，但這裏所述是不經

過熱處理的簡單製作法。

比所要做的螺旋彈簧內徑略為纖細的圓棒一根（山竹較好）鑽小孔，插入鋼琴線後以老虎鉗固定另一端。由所要做的螺旋彈簧的直徑與長度計算鋼琴線的長度，但其最大長度則受到工作室大小的限制。

抓住棒，用力拉鋼琴線而慢慢地捲繞，同時使線靠緊（如圖 17－65 ）。線捲到用老虎鉗固定的一端時，放鬆抓棒的手，彈簧即鬆開而作成比棒略粗的彈簧。此時如放鬆用老虎鉗固定的一端，或者剪斷鋼琴線，則可能因線圈的廻轉速度太快而使手受傷。

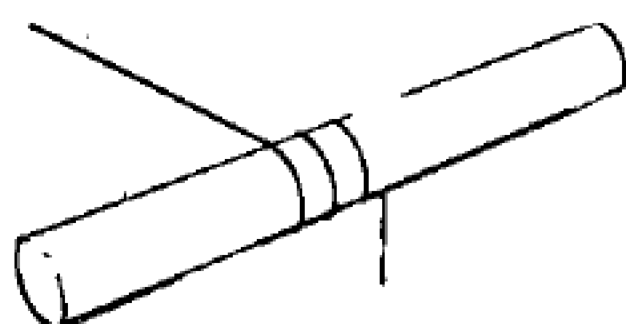


圖 17 — 65

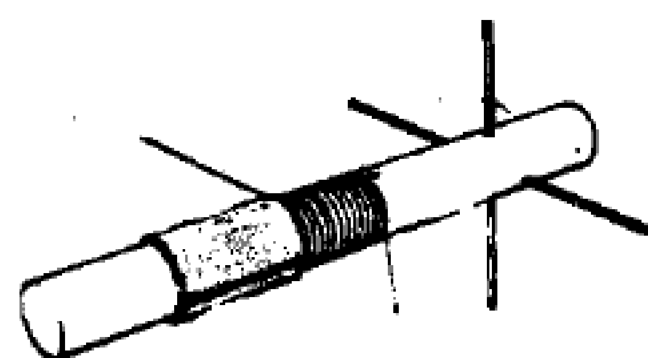


圖 17 — 66

轉動圓棒所需的力很大，因此如圖 17－66 以十字形揷釘或鐵線，則捲線需力較省，為了使線圈靠緊，常利用恰好能套進棒的竹筒一個，或弄彎金屬板套在棒上，一面壓住拉緊的鋼琴線，一面捲繞，則可以得到緊密的線圈。

螺旋彈簧的直徑愈大，或鋼琴線的直徑愈小，則所製成的螺旋彈簧對每單位荷重每圈的伸長愈大。在實驗室所使用的彈簧，以 0.8 毫米直徑的鋼琴線作成 15 毫米直徑的較為合用（捲線棒約 8 毫米）。1 毫米以上的鋼琴線則很難用此方法製作。如用約 0.1 毫米的鋼琴線捲在 2～3 毫米的棒上，則可以製作小彈簧（先用線固定在棒後再捲繞）。

因鋼琴線表面未鍍保護金屬，如塗在線上的油脫落即易生銹，故需塗油保護。利用黃銅線或不銹鋼線也可以製成彈簧，但其彈性則比鋼琴線差。

【螺旋錯位】(Screw dislocation)

照古典的晶體成長理論計算的結果，要形成一個夠大的島(*islands*

）或核心，使結晶能以此為基礎，形成新的一層而繼續長大，則蒸氣壓至少要比飽和蒸氣壓大上25%～50%。但是在1931年，德國物理學家伃摩和許則（*M. Volmer and W. Schltze*）。卻成功的使晶體在僅僅過飽和1%的蒸氣壓中成長。理論預測在這種濃度下晶體成長的速率，比起在實驗中測得的速率，要小上10的1,000次方倍。

那麼晶體為什麼能如此輕易的開始和建造新的一層呢？物理學家反復的檢討他們所做的分析和計算，但是依照舊有的模型，實在沒辦法找出一個合理的解答來。直到1949年，一位英國的物理學家，布里斯托大學的佛蘭克（*F. C. Frank*），提出一種新的模型後，才得到解決。

我們可假設結晶層並非毫不相關的一層堆在一層上面，而是依照螺旋方式連續建造成的。而這種情形在晶體中含有一種叫螺旋錯位的晶格缺陷時便會發生。

假定一個晶體的格子陣中相鄰的二部分之間，扭折了一下，而使

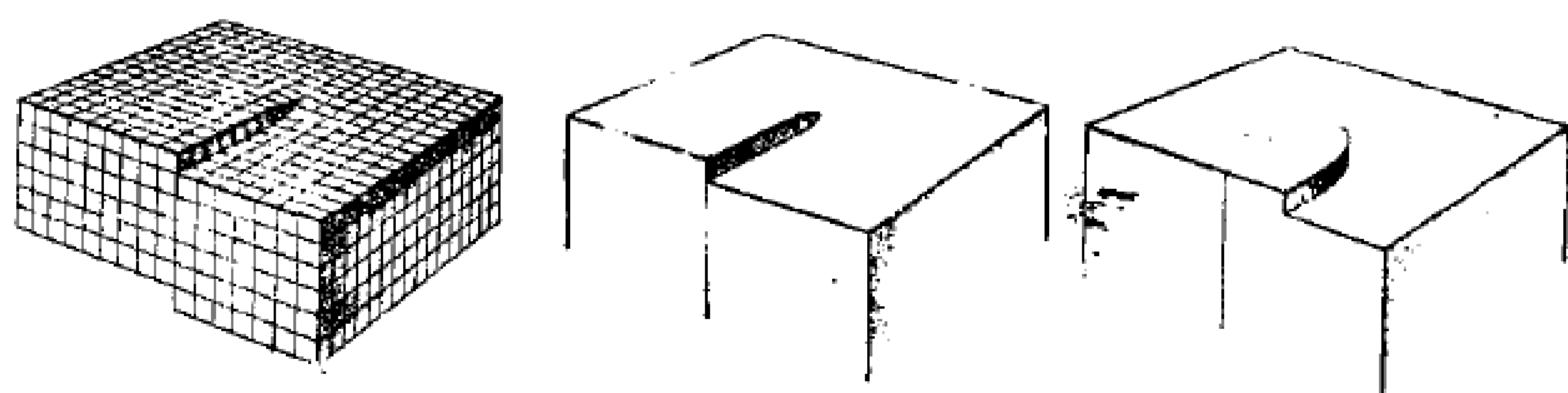


圖 17 — 67　各圖依次顯示出它螺旋形的成長過程

得甲部分的一截比其餘的（對乙部分而言）要整整地低了一層（如圖17—67(*a*)），這就是螺旋錯位。假如有一個很小的人，繞著這條切口散步，他會發現繞完一圈便會向下走了一層，正像他走下一條螺旋坡道一樣，這便是螺旋錯位名字的由來。圖中的模型是右手型錯位，因為這螺旋是向下向右走的。

這種錯位可以造成一條永無止盡的梯階（*step*），在這條梯階上，原子或分子可以很容易的得到立足之處，繼續的建造晶體，而不必每隔一段時間就很費力的重新再開始新的一層。當一個個新的單位加進來

時，這條梯階就可以擴張及整個晶面，在這過程中，梯階便會同時被彎曲成螺旋狀（如圖 17 — 68）。要了解這個道理，讓我們設想一列溜冰者，以他們的排頭爲軸繞圈圈，他們爲了保持直線的隊形，則在外端的人一定得溜得快些，因爲他們要走的路長一點。但在晶體梯階的情況下，外端卻不曾建造得快些，因爲晶體單位附著在結晶上，完全是在一種混亂的狀況下，也就是說沿著梯階各部分，它成長的速率差不多是均勻的。因此在建造的過程中，梯階的外端會逐漸的落後，終於使梯階彎曲成螺旋狀。

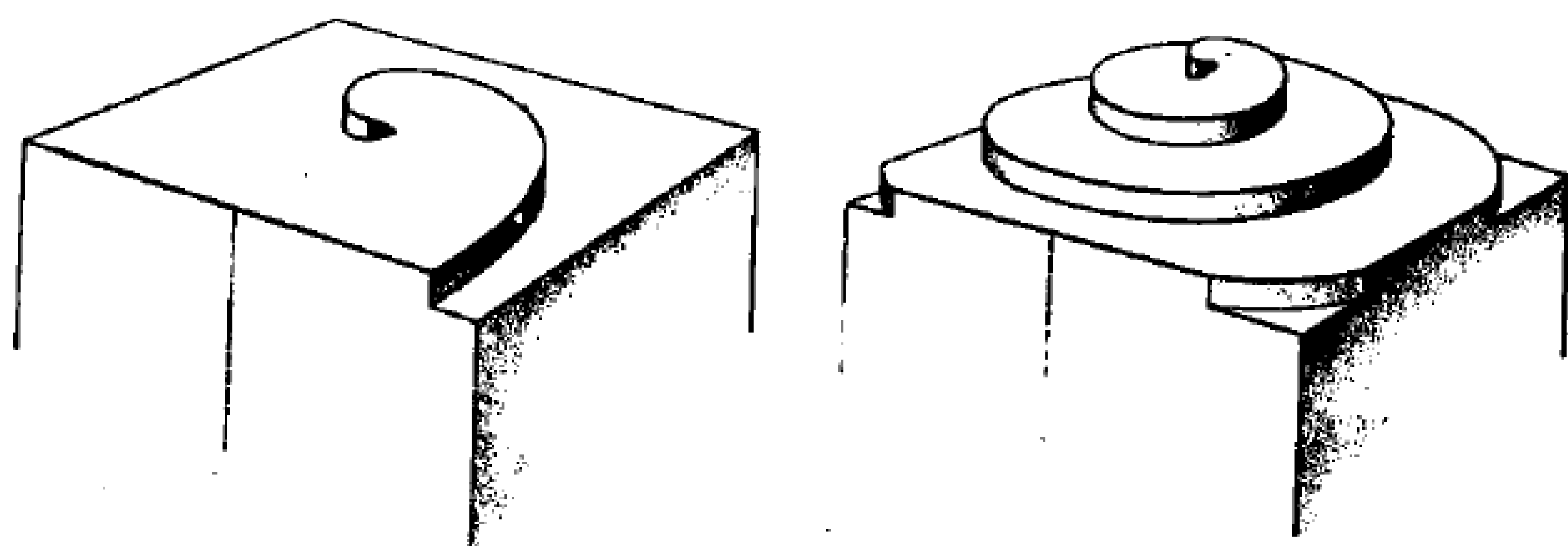


圖 17 — 68

螺旋錯位的晶體成長理論，還幫忙結晶學澄淸了一困擾他們很久的現象，這是一個關於晶體中各層堆積方式的問題。

錯位會減低晶體的強度，如何製造沒有錯位的金屬或其他晶體物質，是一個至今尙未解決的問題。若是我們能找出一個方法，解除了大自然加在晶體成長上的限制，那麼人類便可造出眞正具有革命性的材料。不論這目標能否達成，至少錯位理論已使我們明白了晶體的許多性質——它們的強度，原子經由它們擴散的速率和它們成長的速率！

【螺桿測微計】（Screw micrometer）

利用螺旋轉動一週，即前進或後退一螺距，如將此一週分成 100 等分，則可測得螺距 $\frac{1}{100}$ 之微小距離。

螺桿測微計的構造，如圖 17 — 69 所示，中心軸 BH 與 ED 以 0.5 毫米的齒距相唧合，以左手保持架 K，用右手轉動棘齒 H，BH 則會前進後退。D 的刻度爲以 0.5 毫米的間隔分別刻在上下方，F 每轉動一轉（

移動50刻度）則移動0.5毫米。因F的刻度爲50等分，其一格刻度爲0.5/50毫米=1/100毫米。

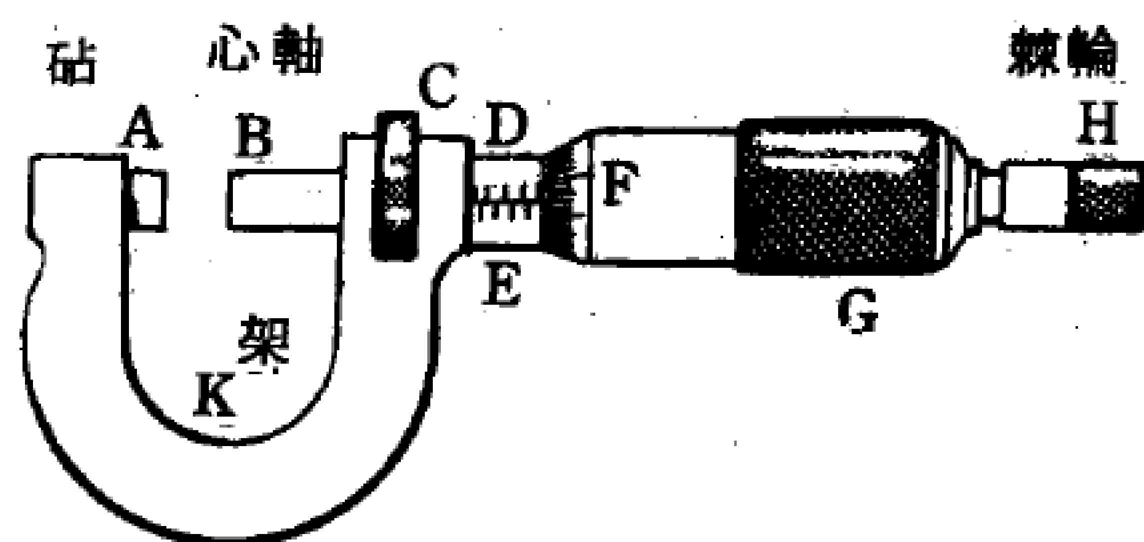


圖17—69

校正尺度零點，即當A，B接觸時，轉動H三次使A，B鬆緊適度，觀察F尺上零度，如不恰在D尺上零度，測出爲正或爲負若干寫爲$\pm a$，是謂零點校正。

測定時將欲測物體夾於A，B中間，慢慢轉動棘輪H，使物體與A，B相接觸，直至旋轉H時，H在G上滑動而不能推進G時爲止（即空轉）。然後觀察F與D相接情形。把F左端的位置由DE刻度讀到$\frac{1}{2}$毫米，把與DE中央線一致的F刻度讀到$\frac{1}{100}$，再用眼睛估計讀到$\frac{1}{1,000}$毫米。

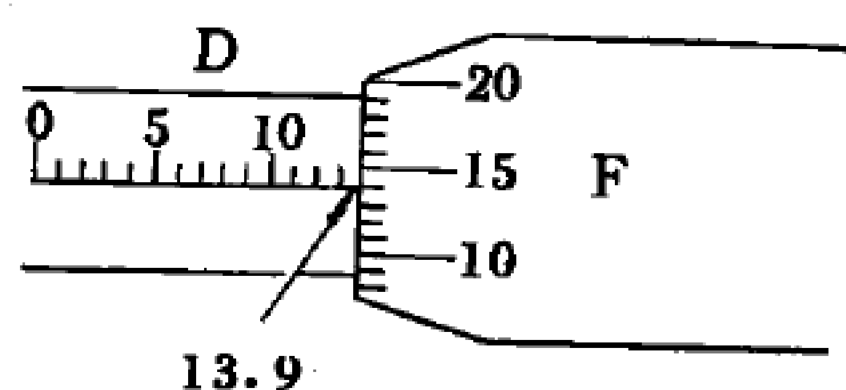


圖17—70　分畫判讀

如圖17—70所示，F之刻度位於13與14中間，且又超過13.5以上，而F與D相齊處（即所示F刻度）爲13.9，故知物之長爲$13.5+\frac{13.9}{100}=13.639\ mm$，然後再校正零點，如此測量多次，求其平均值使能得到確實數值。由上可知F尺上之讀數$\times\frac{1}{100}=D$尺上無法讀出之mm數，螺桿測微計使用於測量極短之距離，如紙張厚度、金屬細線之直徑等的精密測定。

【螺距】（Pitch）

參閱“螺旋（*Screw*）”條。

【螺線管】（Solenoid）

螺線管是繞成緊密螺旋管的長導線。可以作電磁鐵，爲遙控裝置的要件，亦可用來產生實驗用的均勻磁場。

【螺線管之磁場】（Magnetic field for a solenoid）

螺線管（ *solenoid* ）爲繞成緊密螺旋管之長導線，並載有電流 i ，設螺旋管遠比其直徑長。螺線管的磁場爲螺線管每匝所生磁場的向量和。圖 17 — 71 所示之螺線管其匝間間隔寬大，顯示導線間之磁場有相消之勢，並顯示在螺線管內距導線較遠之點 P 與螺線管軸平行。在導線緊密纏繞之極限情形時，螺線管實變爲筒狀電流層，由於對稱條件使上面所述者必然正確。茲假設在以下所述者亦爲正確。

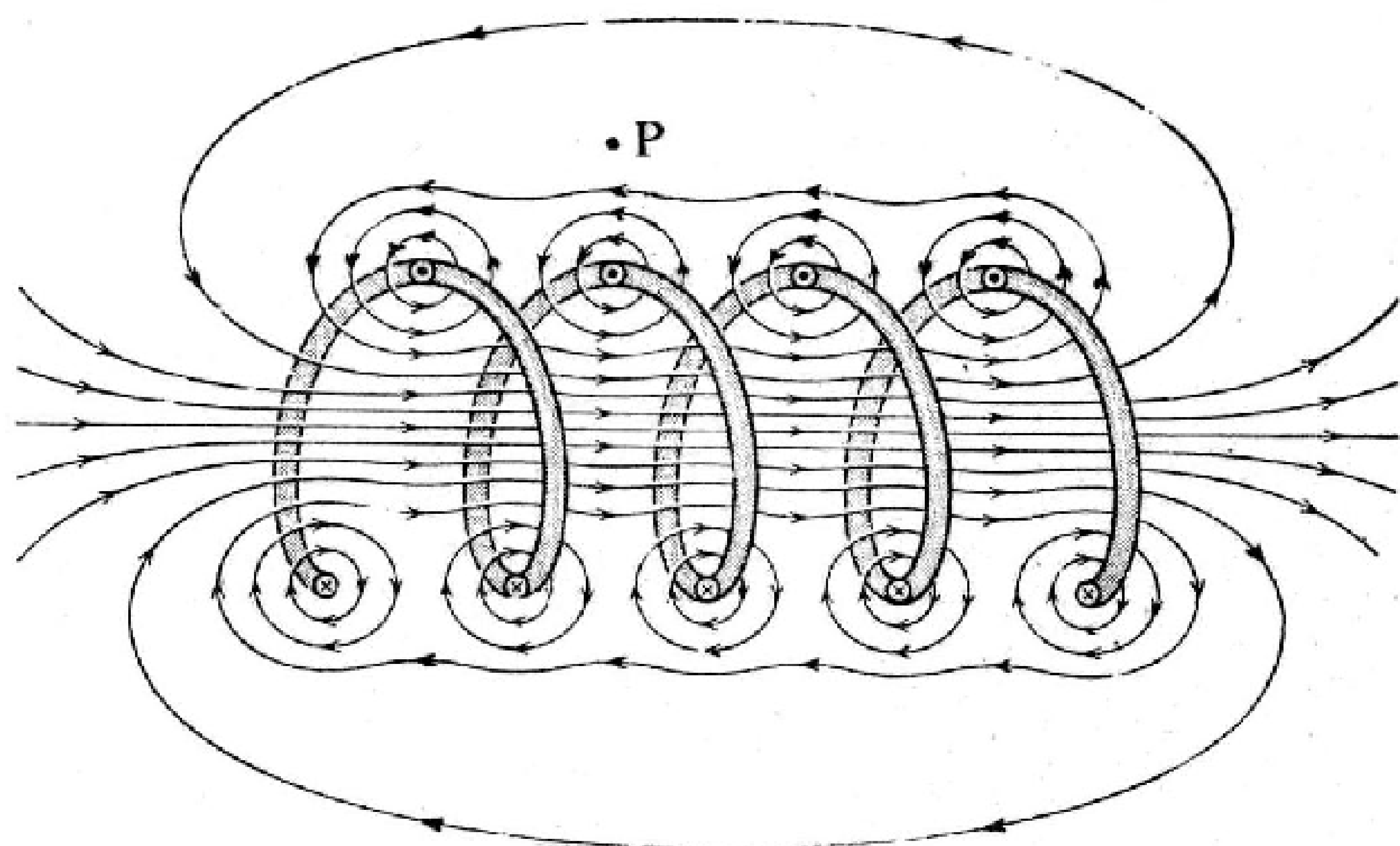


圖 17 — 71　疏纏之螺線管

至於如圖 17 — 71 中之點 P ，螺線管頂上部分（如⊙）在該處所生之磁場向左，有抵銷螺線管底下部分（如⊗）所生磁場之趨勢，底部在該處所生磁場向右。當螺線管愈變愈近於理想時，即趨近於無限長之筒狀電流層時，則管外各點之磁場趨近於零。若實際螺線管長度遠大於其直徑，又只考慮靠近管中央部分之管外諸點，即遠離兩端時，取其外部的磁場爲零並非不當之假設。圖 17 — 72 陳示眞正螺線管的 B 線，此管長度比其直徑大的並不多，故距理想情形尚遠。在此情況下，由於在中央平面之 B 線的間隔顯示外部磁場比內部磁場要弱得多。

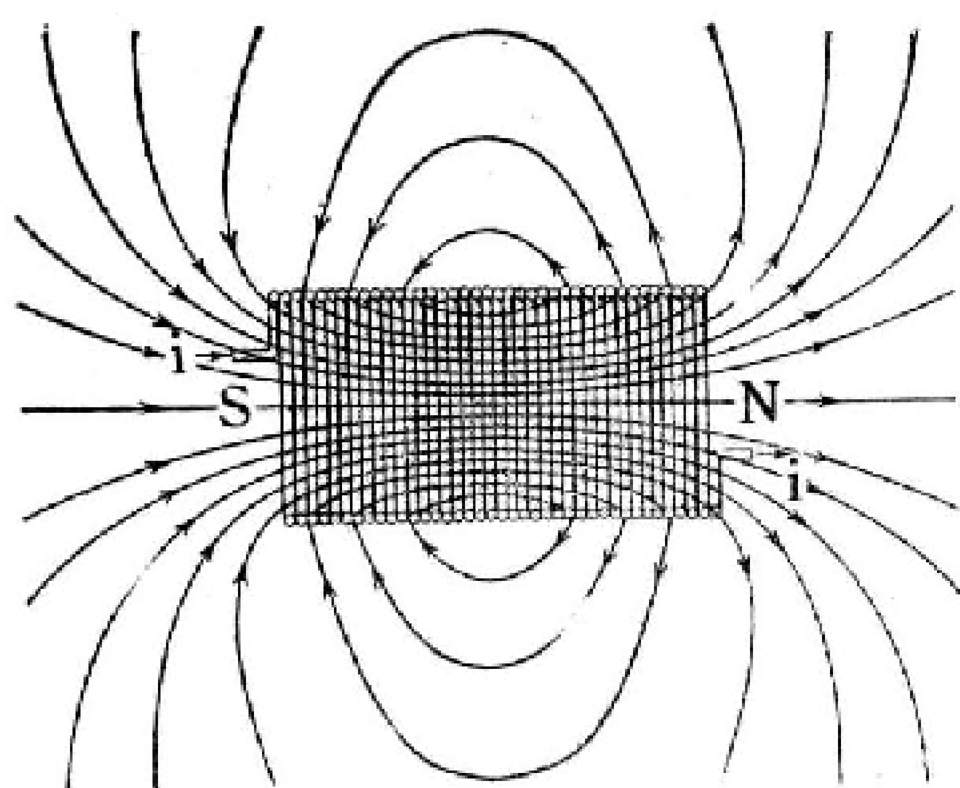


圖 17 — 72
定長之螺線管。B 線從右端出發，此端形同磁針的北極，左端則形同南極

茲應用安培定律

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}=\mu_0 i$$

於圖17—73之理想螺線管的長方路徑$abcd$，將積分$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}$寫爲四積分的和，每段路徑有一積分：

$$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}=\int_a^b \vec{B}\cdot d\vec{l}+\int_b^c \vec{B}\cdot d\vec{l}+\int_c^d \vec{B}\cdot d\vec{l}+\int_d^a \vec{B}\cdot d\vec{l}$$

右邊第一積分爲Bh，h爲路徑由a至b的長度。路徑ab雖與管軸平行，但不必與軸重合。

第二和第四積分均爲零，因路徑上每一基素$\vec{B}$與$d\vec{l}$成直角，而使$\vec{B}\cdot d\vec{l}$爲零，故積分亦爲零。第三積分包含長方形在管外的部分，因對理想螺線管外所有點之$\vec{B}$均取爲0，故此積分爲零。

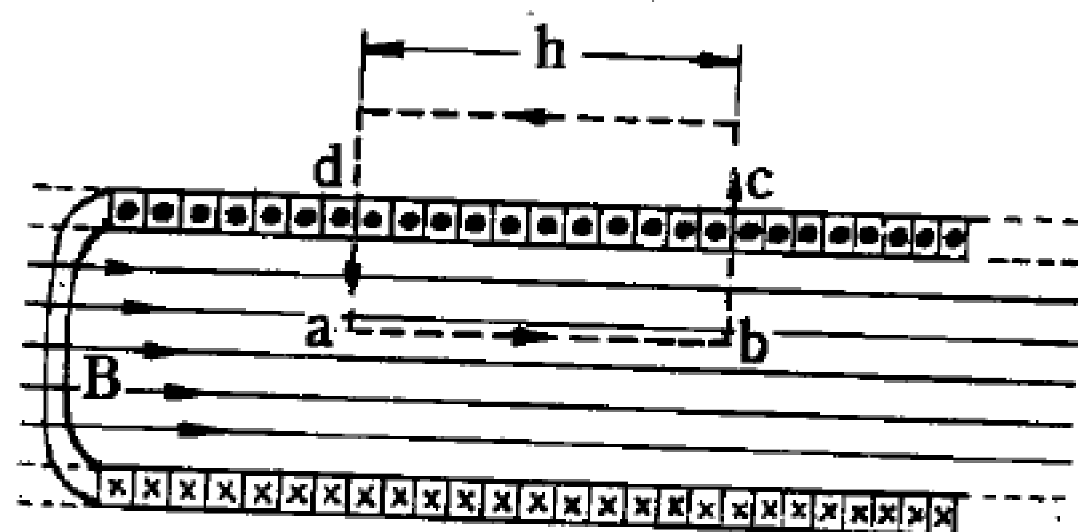


圖 17 — 73
理想螺線管的一段，此管緊密纏繞，相當於一無限長之筒狀電流層。

因此對整個長方形路徑之$\oint \vec{B}\cdot d\vec{l}$其值爲$Bh$。通過積分路徑所包圍之面積內的淨電流$i$與螺線管內的電流$i_0$不同，因積分路徑所包圍者不止一匝。令$n$爲單位長度之匝數，則

$$i=i_0\ (nh)$$

安培定律即變爲

$$Bh=\mu_0 i_0 nh$$

或

$$B=\mu_0 i_0 n \qquad (1)$$

雖然（1）式係就無限長之理想螺線管推導而得者，但對實際螺線管靠近中央內部之諸點而言亦極適合。這表示B與螺線管的直徑或長度無關，且在螺線管截面上B不變。爲產生實驗用之已知均勻磁場，用螺線管爲可行的方法，就像欲產生已知之電場時用平行板電容器爲可行的方法一樣。

【螺線環】（Ring solenoid）

如圖17—74示一螺線環，此環可看成一有限長度之螺線管彎成油

炸圈之環狀。

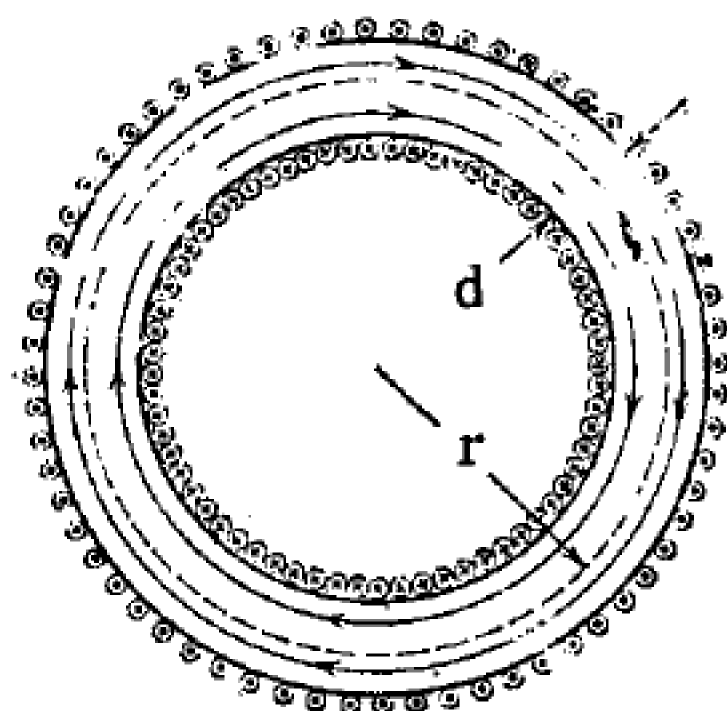


圖 17 — 74
螺線環之磁場

因對稱關係在螺線環內 B 線形成同心圓，如圖所示。再對半徑爲 r 之積分圓路徑應用安培定律：

$$\oint \overrightarrow{B}\cdot\overrightarrow{dl} = \mu_0 i$$

即 $$(B)(2\pi r) = \mu_0 i_0 N$$

i_0 爲螺線環繞組內之電流，N 爲總匝數。由此得

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi}\ \frac{i_0 N}{r}$$

B 在螺線環截面內並非不變，故與螺線管不同。由安培定律可證明理想螺線環外各點之 B 等於零。

【謝爾麥方程式】(Sellmeier equation)

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \cdots\cdots$$

式中 n 爲折射率，λ 爲波長。

【趨骨素】(Bone seeker)

一種當進入人體時有集中於骨骼的趨向的放射性同位素，如鍶 - 90 (一種與鈣之化學性質相似的元素)就是一種趨骨素。

【趨膚效應】(Skin effect)

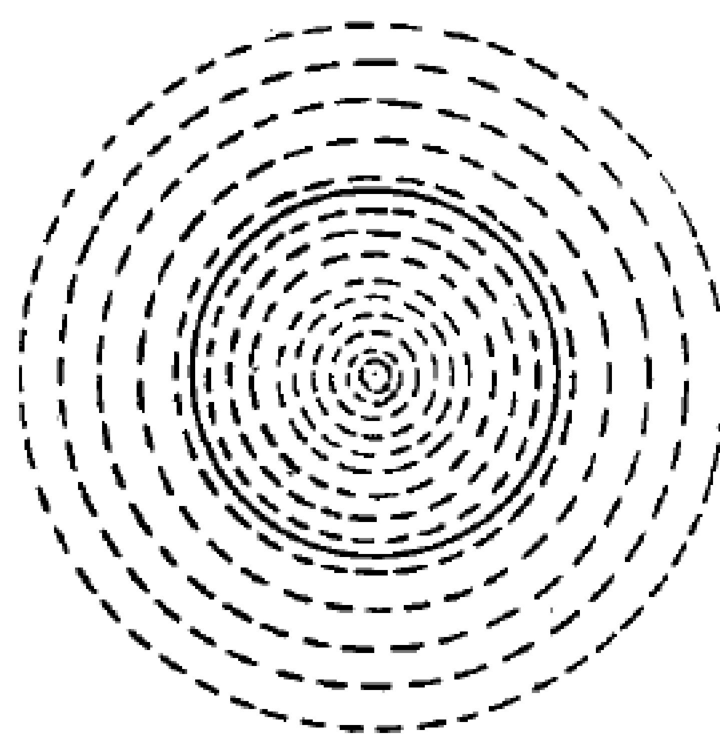


圖 17 — 75
交流電流在導線中的趨膚作用。

一導線載以直流電時，僅受導線純電阻的作用；除因熱能而消耗電能外，電流在導線中能均勻分佈於導線的橫截面中流通。若導線中載以交流電時，則情況將大不相同。因導線中通以電流時所產生之磁場，其磁力線係以同心圓由導線中心向外擴張。愈近導

線中心，磁力線愈爲密集。此磁力線對直流電並無影響，但對交流電則因產生電感抗X_L的作用，而有阻止電流順利流通的傾向。交流電的頻率愈高，其阻抗力愈大，磁力線在導線中心既密於外圍，遂有迫使交流電沿導線外圍流通的作用，此種作用稱爲趨膚效應，如圖17—75所示。頻率愈高，趨膚作用愈明顯。在射頻電路中，導線的中心既已不能導通電流，徒然增加直流電阻，顯屬一種損失。爲適應射頻電流的趨膚特性，減少直流電阻的損失，常採用空心導線或銅管、銅片以代實心導線。或用李支線（*litz wire*）代替普通導線，以減少趨膚作用。銅管、銅片適宜於製作巨型線圈，辮線則因柔軟而適宜於射頻電路中作小型線圈及連接線之用。

【趨膚深度】（Skin depth）

當電磁波進入金屬表面後，通常在一段距離之內即被吸收。由馬克士威方程式之解得知電場在進入金屬後，按下式關係衰減：

$$E=E_0 e^{-z/\delta_0} exp\ \{ i\omega (\frac{nz}{c}-t) \}$$

式中z爲進入表面後行經的距離，δ_0即稱爲古典趨膚深度。它的數級相當於$\frac{c}{(2\pi\sigma\omega)^{1/2}}$，$c$與$\omega$是電磁波的速度與頻率，$\sigma$是金屬的電導係數。如在某些純度極高的金屬中，低溫時，高頻率的電磁波會在進入金屬表面後極短距離內被完全吸收，即趨膚深度極短。如趨膚深度短於此時該物質中電子的平均自由路程時，趨膚現象即稱爲反常趨膚現象。此時的趨膚深度必以有效電導係數求之，即

$$\delta=\frac{c}{(2\pi\sigma_{eff}\omega)^{1/2}}$$

式中σ_{eff}表有效電導係數。

【避雷針】（Lightning rod）

落雷時，常傷害人畜及房屋，欲避此害所用之裝置謂之避雷針，爲富蘭克林（*Benjamin Franklin*）所發明。避雷針爲一直立於房屋或其

他高物上一金屬棒，上端尖銳，其下端與附有一金屬板之多條金屬線相連，掘地極深，至見水時，將金屬埋入，則可以避雷。因帶電之雲，接近地面時，地面由感應發生異電，從金屬桿之尖端，呈尖端放電作用，不絕地放散於空氣中，與雲內之電相中和，使不至激烈放電，防止附近落雷；或將閃電所生的電流輸導至地下，而減少被保護物的損害。

【避雷器】(Lightning arrester)

避雷器爲保護接收機，免除意外危險。其構造係用二個金屬電極，相互距離僅千分之幾吋（電極中係空氣或眞空）。設一高電壓輸入時如轟雷，則在避雷器氣隙穿過，所有電壓皆入大地，對於接收機毫無影響。此種設置可在室外，其接於引入線與地線之間，且與接收機之天地線各相並行。

【邁克生】(Albert Abraham Michelson 1852—1931)

美國物理學家。1852年十二月十九日生於德國，兩歲時隨父母移居美國舊金山。1873年美國海軍官校畢業，1875年至1879年，任母校理化教官。1880至1882年赴柏林、海德堡、巴黎等地進修，1881年由海軍退役，1883年任克利夫蘭應用科學學院的物理學教授，六年後赴克拉克大學，1892至1929年任芝加哥大學物理學系主任。在克利夫蘭時發明干涉計，用以測量地球運動對光速的影響，邁克生和毛立（*Morley*）發現光在眞空中的速度永遠一定，他們的發現奠定愛因斯坦相對論的基礎。當時國際度量衡協會在巴黎有一隻標準公尺，小心保存。邁克生用鎘（*Cd*）元素的紅光波波長量公尺的長度，從此公尺有了絕對的長度，不慮標準尺被毀。1907年獲諾貝爾物理學獎，是第一位獲物理學獎的美國科學家。第一次世界大戰期間回海軍服役，設計許多新式裝備。1920年利用光的干涉量出獵戶星座中參宿四（*Betel-geuse*）星的直徑是二億四千萬哩，這是第一次量得太陽以外之星球的大小。1926年成爲芝加哥大學第一位"傑出貢獻教授"。邁克生一生研

究光學達五十學年之久，1931 年五月九日逝於加州帕莎丁納。

【邁克生、毛立實驗】(Michelson-Morley experiment)

邁克生和毛立在 1887 年做了一個光的干涉實驗，以探討以太的存在問題。圖 17— 76 爲整個實驗的裝置情形，A 爲光源，B 爲半反射鏡，C、E 爲反射鏡，兩者距 B 皆爲 L；由 A 發出的光到 B 後，有一部分光穿過 B 到達 E，經 E 反射後又回到 B，B 又把它反射而抵觀測者 O 的地方；另一部分光被 B 反射至 C，經 C 反射後又回到 B，再穿過 B 而達到觀測者的地方。因此，觀測者 O 能看到兩種不同行徑的光所產生的干涉現象。

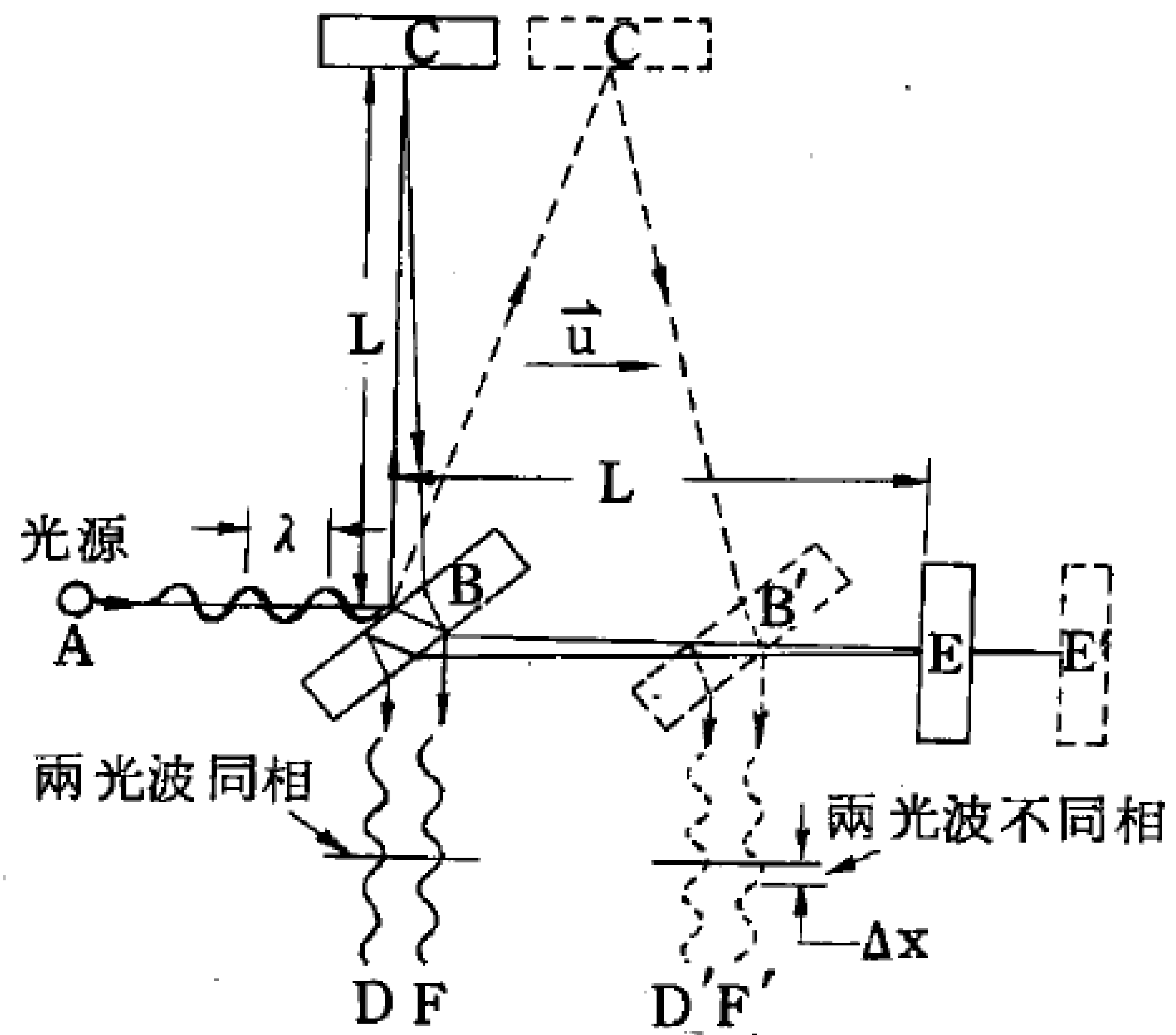


圖 17 — 76
邁克生、毛立實驗的裝置

假若此裝置對以太是靜止的話，則可以知道光在各路徑上的速度皆爲 c，因此兩束光在到達觀測者前，在路徑上所費的時間皆爲 $2\frac{L}{c}$，因此沒有干涉現象。

假若這裝置對以太有一相對速度 $\overrightarrow{u}$，則光在裝置系統內的速度爲 $c-u$。設 $\overrightarrow{u}$ 是沿著 BE 的方向上，則光在以太中所走的路徑爲圖17—76 的虛線，但跟裝置一起移動的觀測者，他看到的光行徑還是如實線所表示的；因此，對觀測者而言，光由 B 至 E 的速度爲 $c-u$，由 E 至 B 的速度爲 $c+u$，但皆走了 L 之距離，所以全程耗時爲：

$$T_1=\frac{L}{c-u}+\frac{L}{c+u}=\frac{2\frac{L}{c}}{1-\frac{u^2}{c^2}}$$

同樣地，對觀測者而言，由 B 至 C 和由 C 至 B 的光速可由圖 17—

76 看出：

$$v = \sqrt{c^2 - u^2}$$

所以全程耗時：

$$T_2 = 2\frac{L}{\sqrt{c^2 - u^2}} = \frac{2\frac{L}{c}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

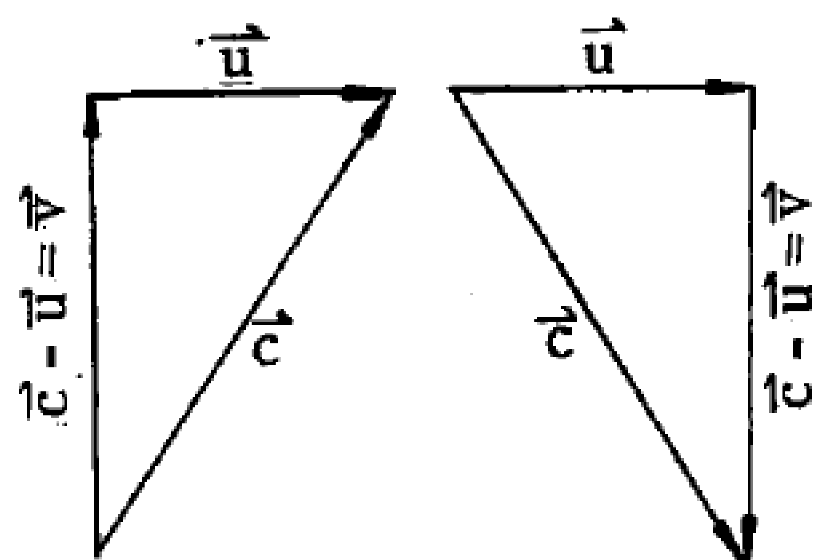


圖 17 — 77
邁克生、毛立實驗中，在垂直方向，觀測者所觀察的速度關係。

兩行徑的時間差爲

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 2\frac{L}{c}\left(\frac{1}{1-\frac{u^2}{c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}\right)$$

$$= 2\frac{\frac{L}{c}}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}} - 1\right)$$

$$\simeq \frac{L}{c}\left(\frac{u}{c}\right)^2 \qquad (1)$$

此指光往返於 BE 所需時間較往返於 BC 爲大。根據波動理論，當二波具有一時差時，此二波之間必具一光程差亦即相位差，干涉條紋係決定於波的相位差，故由（1）式，若 $u \neq 0$，則 $\Delta T \neq 0$，因之即有干涉現象，由 ΔT 的大小可推測干涉的情形。反之，在實驗上觀測其干涉情形，可推測出 ΔT 的大小。

最合理的假設，是以太對宇宙的質心是靜止的；但地球繞太陽的速率爲 $3\times10^6\, cm/sec$，而太陽對大部分星球的相對速度遠小於 $10^6\, cm/sec$，因此，可以認爲太陽對宇宙質心的速度差不多是遠小於 $10^6\, cm/sec$，所以地球對以太的速度約爲 $3\times10^6\, cm/sec$。我們的實驗是在地球上做的，故 $u \simeq 3\times10^6 cm/sec$，設 $L \simeq 3{,}000\, cm$，則 $\Delta T \simeq 10^{-15}\, sec$。

但經多年的實驗，並未發現這預期的結果，而且是 $\Delta T = 0$。據非

次吉拉（*Fitzgerald*）和羅倫茲（*Lorentz*）認爲，所有一切物質在對以太的運動方向上，它的長度縮短爲靜止時長度的$\sqrt{1-(u/c)^2}$倍，由（1）式可看出，則$\Delta T=0$。但此說並無確實可靠的學理根據，故以太的存在並不確實可信，而光速在有相對運動的兩個慣性系統中皆爲c。

參閱“邁克生干涉計（*Michelson interferometer*）”條。

【邁克生干涉計】（Michelson's interferometer）

邁克生干涉計是利用干涉條紋極精確地測量長度或長度改變的儀器，其裝置如圖17—78所示。光由小光源S射出，經透鏡L變爲平行光，又射至玻璃板A上，傾斜的A板入射光成45°。A板前表面鍍有很薄的銀膜，因此大約一半的光被反射向上，另一半則穿透而過。反射和透射光束分別射至平面鏡B和D又返回A。到A板半鍍銀面上時，自B折回之光部分透射而過，自D折回之光則有部分反射至O。因爲兩者均來自同一光源，所以在O產生干涉效應。又因自A透射至D又經A反射至O的光經過三次玻璃板，而由B透射至O之光只經過A板一次，所以中間要加上另一同厚度的玻璃板C，使光到達O時均經過相同厚度的玻璃。

觀察者O可以同時看到由B透射來之光和由D經A反射之光。若自A到兩鏡的距離相等，B和D確相垂直，且均與A成45°，則D的像與B表面相重合。若兩鏡至A距離不相等，則B表面與D像間存有空氣薄膜，因此O點將可見到空氣薄膜的干涉條紋。

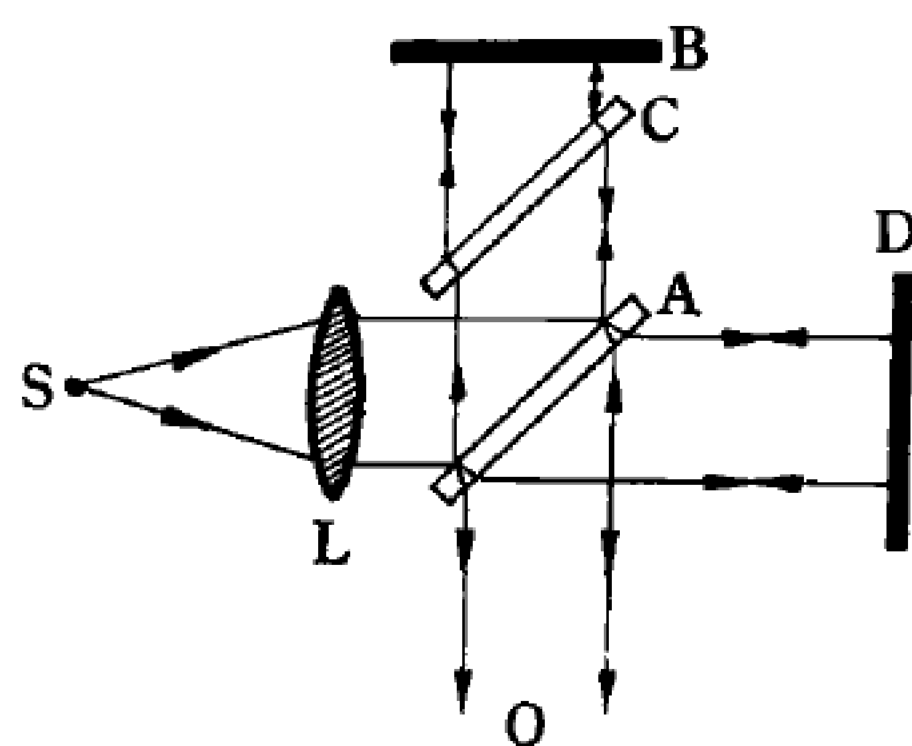


圖17—78

假設B固定，D可作水平移動。當D移動後，視界中的干涉條紋將作橫向位移。若面鏡D移動半個波長，將使條紋自原位置位移一個條紋

。所以計數通過某一定參考點的條紋數，可求得面鏡D的移動距離。光波波長λ，面鏡位移距離d和條紋移動數n的關係是：

$$\lambda = \frac{2d}{n}$$

此種干涉計的準確度很大，用途甚廣，邁克生曾利用它測定鎘光譜中紅線的波長。結果在溫度 $15°C$，大氣壓 76 厘米水銀柱高時，1 米內共含 1,553,163.5 個紅鎘光波長。1907 年國際太陽研究會正式定 $6,438.4696 \times 10^{-10}$ 米為鎘光譜中紅線的波長。

【邁克生星球干涉儀】(Michelson stellar interferometer)

此儀器能測量星球的角直徑。

【邁斯納式振盪器】(Meissner oscillator)

利用連鎖式電路作反饋之射頻振盪器，是邁斯納最初發明的第一座發報機。

【邁斯納效應】(Meissner effect)

當導體變成超導體 (*superconductor*) 時，其電阻為零，也就是理想導體。根據馬克士威方程式 (*Maxwell equation*)：

$$\nabla \vec{E} = -\frac{1}{c}\vec{B}$$

我們可以得到B = 常數。這也就是說，理想導數內的磁感應強度B對時間而言是一常數。

在溫度大於臨界溫度時，有磁通量的超導體，一旦我們將溫度降到臨界溫度以下，體內的磁場會完全被排斥出體外，而沒有滯後現象，超導性的相轉變是可逆的。

在超導體中，我們單假設其具有“理想導電性”是不夠的，還必須假設超導體具有“完全反磁性”(*perfect diamagnetism*) 為零，此種現象在 1933 年由邁斯納發現，故稱為邁斯納效應。此效應的發現，使我們對超導體理論上的瞭解，向前邁進了一大步。

【鍍銅】(Copper plating)

利用電解作用，使某種物體表面鍍上銅層。

參閱“電鍍(*Electroplating*)”條。

【鍍銀】(Silver plating)

利用電解作用，使某種物體表面鍍上銀層。

參閱“電鍍(*Electroplating*)”條。

【鍍鋅】(Zinc plating)

利用電解作用，使某種金屬鍍上鋅層。

【鍍鋁燐光幕】(Aluminium-backed phosphor)

陰極射線管的燐光幕鍍上一層鋁，電子射線中如雜有離子卽不能貫穿鋁幕，消除離子在光幕上造成斑點，同時並可使光度增強。

【鍍鎳】(Nickel plating)

利用電解作用，使某種物體表面鍍上鎳層。

參閱“電鍍(*Electroplating*)”條。

【鍵序】(Bond order)

鍵序爲量子力學中表示兩原子間共價結合電子對的數目。共價化合物中價鍵之長度與價鍵結合方式有密切關係，例如碳的一價鍵或單鍵長度爲1.54Å，雙鍵則爲1.33Å，三價鍵卽爲1.20Å。單鍵的鍵序爲爲1，雙鍵爲2，三價鍵則爲3。在共軛分子及芳香族分子中，鍵序不必爲整數，但亦與鍵長有近似線性的函數關係。

【鍺】(Germanium ; Ge)

週期表中第四族元素，原子序爲32，它的外層價電子有4個。鍺爲灰白色半導性金屬，其導電性視其中雜質(*impurity*)含量而定。比重爲5.323，熔點爲937.4°C，沸點爲2,830°C，硬度爲6。

鍺爲鋅及其他元素的副產品，鋅在空氣及氯中加熱，氯化鍺卽可蒸出，氯化鍺經蒸餾後水解爲氧化鍺，再以氫還原卽得純鍺。極純之鍺單

晶體則須用熔層法（*zone refining*）精製得之。

鍺在眞空管中用作電阻、半導體或電晶體的主要材料。亦有用以製合金、磷光體、催化劑及紅外線光學儀器者。

假如有少量的雜質加入鍺結晶後，其傳導電流的特性就立刻改變。鍺中所摻的雜質如爲五價的施素（*donor*），則此種鍺稱爲N型鍺，因爲此種半導體的電流傳導，是由帶負電荷的載子構成，也就是由電子所構成。如鍺中所摻的雜質爲三價的受體原子（*acceptor atom*），這些元素，在晶體中能將其周圍鍺，原子的電子取去，以塡補電洞，則含此種雜質的鍺稱爲P型鍺。P型鍺的載子就是帶正電荷的電洞(*hole*)。

【鍺二極晶體管】（**Germanium diode**）

是一種純鍺，加入少許雜質製成，具單向傳導特性，而且耐壓高，比一般礦石優良得多。

【鍶】（**Strontium；Sr**）

週期表中第二族之鹼土金屬，原子序爲38。鍶爲淡黃色柔軟金屬，性質略似鈉，能熔於酸和乙醇中，遇水則將其分解。鍶的比重爲2.54，熔點爲770°C，沸點爲1,380°C。在空氣中熱至熔點以上則燃燒。

鍶的主要礦物爲碳酸鍶礦（$SrCO_3$，*strontianite*）及天青石（$SrSO_4$，*celestite*）。純鍶由電解氯化鍶的熔融液而製成，或以鋁粉還原氧化鍶而得。鍶多用以製合金及眞空管中的收氣劑（*getter*），鍶的化合物亦用於焰火。

鍶-90同位素有強烈的放射性，半衰期爲28年。其放射線可利用自動測量紙張、鋼板及其他材料的厚度，並用爲放射治療的放射性源。原子彈的放射塵中含有多量之鍶-90，在人體中隨鈣進入骨骼中，能危害人體健康。

【鍶-90】（**Strontium-90；Sr-90**）

鍶-90是核分裂而產生之放射性同位素，它的半衰期爲28年，另

一個爲鍶 - 89，半衰期爲51天。通常我們對鍶 - 90比較注意，因爲它是最能長期危害人體健康的一種放射性核種。

在人體中，由於它是屬於趨骨性（*bone-seeking*）的放射性同位素，與鈣一起移動，所以它亦爲組成骨骼的成分。它主要是由牛乳與植物爲媒介而傳入人體，它的量通常以鍶單位（*strontium units*）表示，鍶單位即每克鈣中含有多少微微居里的鍶 - 90。

我們估計鍶 - 90的傷害力時，是與鈣來比較。例如兩種食品*A*和*B*，在同一時刻*A*含有10鍶單位，含鈣量爲0.1克；*B*含1鍶單位，含鈣量1克，則此兩種食品的鍶 - 90對人體傷害程度是相同的。

經過了許多的研究，我們得到兩種方法，可以減少鍶 - 90對人體的傷害：

1. 鈣與鍶從植物傳遞到骨骼的每一程序中，鈣較鍶先進入骨骼。因此對鍶 - 90產生生理上的排斥作用。

2. 我們在日常生活中，食用果實或蔬菜，必先洗滌或剝皮，此亦構成鍶 - 90進入人體的一種障礙。

由於鍶 - 90又爲許多發電機裏所使用的燃料，所以在工業上也有兩種方法以防止鍶 - 90：

1. 利用不溶解的鈦酸鍶化合物做爲燃料，以減少吸收進體內的機會。鍶 - 90的原子在這種化合物裏被化學方法所"鎖"住了，因而即使超過它的熔點1,910°C，它仍然可以維持安定的狀態。

2. 將鍶 - 90發電機的燃料片裝在一種稱爲赫史特勞埃—C（*Hastelloy C*）的合金裏面，這種合金可以當成既堅固而又防裂的燃料套，而且即使它浸入海水中亦不致腐蝕。如要爲發電機提供更多的防護措施，則可以在其外層再加上赫史特勞埃—C的合金。即使飛機失事造成直接的撞擊，也不虞損壞而使燃料散佈開來。

由鍶 - 90所放出的β粒子在燃料外圍的物質裏就會被阻擋住了，而

不會造成任何輻射傷害，然而當 β 粒子被阻擋而停下來的時候，會有一種類似 X 射線的次級輻射放出，這種輻射被稱爲制動輻射（*bremsstrahlung*），它對於人體來說異常危險，因而需要防護的屏蔽。所使用的屏蔽種類有超過 4 吋厚的鉛塊，約 3 吋厚的耗乏鈾，或是 8 吋的鑄鐵。

【鍋爐】（Boiler）

產生蒸汽的裝置稱爲鍋爐。鍋爐通常係裝於一特備的房間中，跟機器本身不在一起。鍋爐的型式很多，如圖 17 — 79 所示爲一單煙道箱式鍋爐（*single-flue tank boiler*）。從圖上可以看出，圓柱形的鍋爐箱中，通有一寬大的波形管，係鍋爐操作時添煤發火之所在；其前方用爐條分爲二部，上半部容納燃料、火焰與燃燒產物，下半部則作爲灰坑與空氣的入口。鍋爐係包在一道圍牆之中，牆內裝有特別敷設的煙道，爲燃燒時高熱的氣狀產物流通的管道，目的在使氣狀產物在經由地下煙道進入煙囪之前，與鍋爐內接觸的時間儘量加長。又鍋爐須滿盛以水置於煙道之上。爲使蒸汽能在非常乾燥的狀態下離開起見（亦即爲了避免使蒸汽挾帶液態的水），鍋爐另配有一鐘形汽室（*steam dome*）。事實上，蒸汽就是從鐘形汽室經由管子進入蒸汽機的。

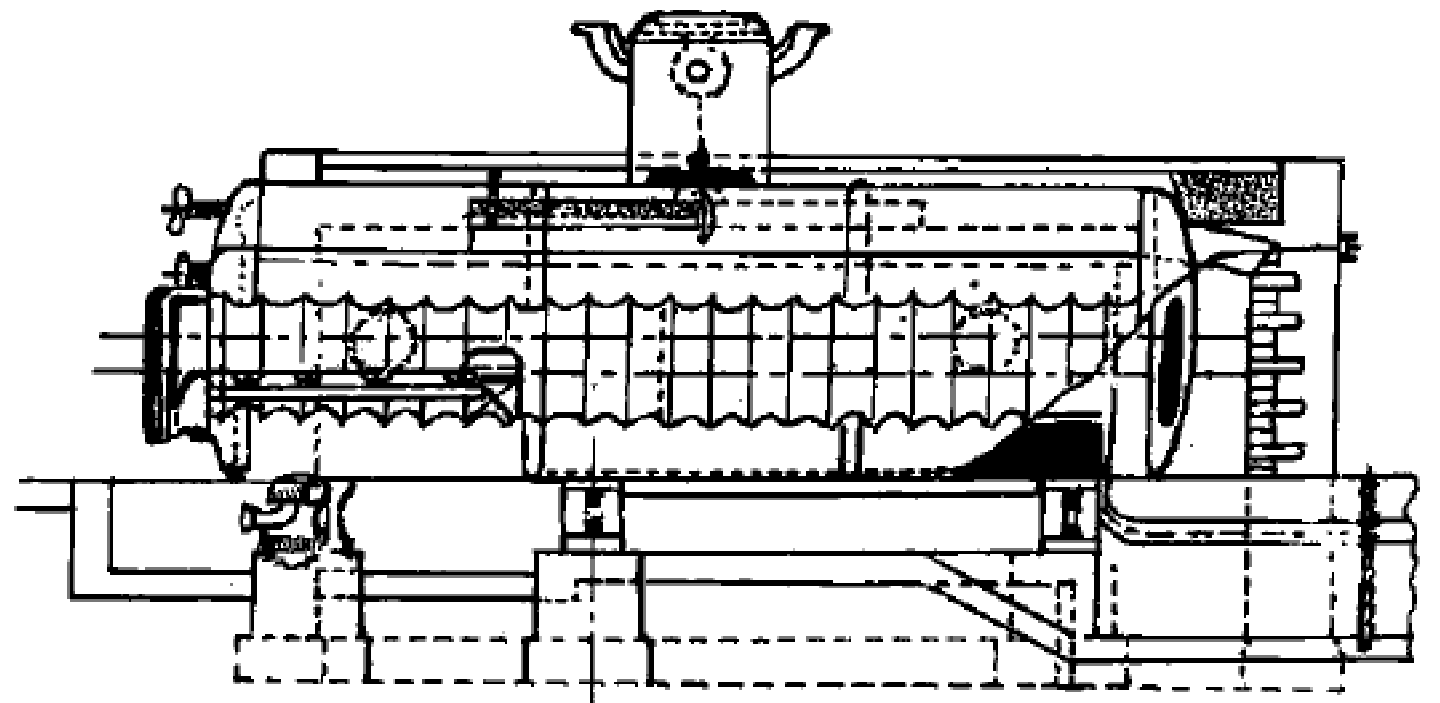


圖 17 — 79　單煙道箱式鍋爐

此外尙有各式各樣的鍋爐，如爐管式鍋爐（*furnace tube boiler*）、水管式鍋爐（*water tube boiler*）等。

機械工程師常將離開鍋爐的蒸汽，在不增加壓力的情況下進一步加

熱，使其溫度高於工作壓力（*working pressure*）時的沸點，成為所謂過熱蒸汽（*superheated steam*），俾使進入汽缸的蒸汽完全乾燥而能承受較大的膨脹。過熱蒸汽的導熱性能比濕蒸汽低些，故機器內部表面的冷卻影響較小，因此可以在不減低功率的情況下減少水與燃料的用量。

【鍩】（Nobelium；No）

人造放射性元素，原子序為102。

【鎂】（Magnesium；Mg）

原子序為12的金屬元素。質輕色白，燃燒時發極強之光，暗室照相常用之。

【錨式絕緣子】（Anchor insulator）

在天線柱與天線之間常以錨式絕緣子聯絡，如此可免去射頻電流在天線柱有旁路作用。

【隱匿變數】（Hidden variable）

在傳統的量子學說裏，一物理系統的一切性質可用波函數$\psi(r,t)$來描述，例如$|\psi(r,t)|^2$可代表粒子在r處出現的機率。顯然的，許多這類的描述均含有不確定的統計的性質。這種統計性質，對量子學說適用的微觀範圍的現象而言，並無任何不當之處。因為量度微觀物體時，有先天上的限制，而所得的實驗數據只是統計上的（機率的）描述而已。因此在傳統的量子學說裏，放棄確定的描述，並接受互補性的觀念、測不準原理和統計的觀念，認為波函數對一物理系統已有最完全詳盡的描述。就物理的研究方法而論，這種觀念並無偏差，只是在有些偏愛哲學與人類主觀者的信念來說，只能作統計性質的描述，未免是一大遺憾。因此就有人提出另一看法，認為在量子理論的背後，必有一套完全的理論，並且有一些尚未被人所知的變數，這些變數稱為隱匿變數。以數學的記號表示，就是存在隱匿變數ξ的空間X，在X中有一有

限測度ρ（歸一成爲$\rho(x)=1$），使某一物理狀態$P(a)$成爲

$$P(a)=\int_x d\rho(\xi)P_\xi(a)$$

式中$P_\xi(a)$爲在X空間中，受到隱匿變數ξ影響的狀態，也稱爲不受色散的狀態（*dispersion-free states*）。當然，這種隱匿變數的理論，與傳統量子力學的一些假設不合，也影響到測不準原理及互補原理。如不硬性保有這些觀念，則隱匿變數的理論仍有價值。即使隱匿變數的物理意義尙未（也許永遠不能）了解，但是它在哲學與人類主觀的愛好者，仍不失爲相當引人的理論。

【霜】（Frost）

霜爲含於空氣之水蒸氣，遇冷時不經過液體狀態，直接由水蒸氣凝固而成之冰。即地上物體冷至冰點以下時，其周圍空氣中之水蒸氣冷而凝結即成霜。

另一種情形是當地面冷到0°C以下時，地下所含的水分凝結而伸出地面者，稱爲霜柱，跟霜是完全不同的。

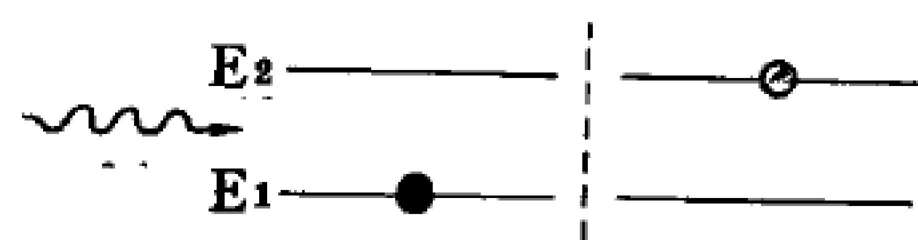
【霙射】（Maser）

霙射即代表“藉激發性的輻射法來加強微波的強度（*microwave amplification by stimulated emission of radiation*）”之英文縮寫。

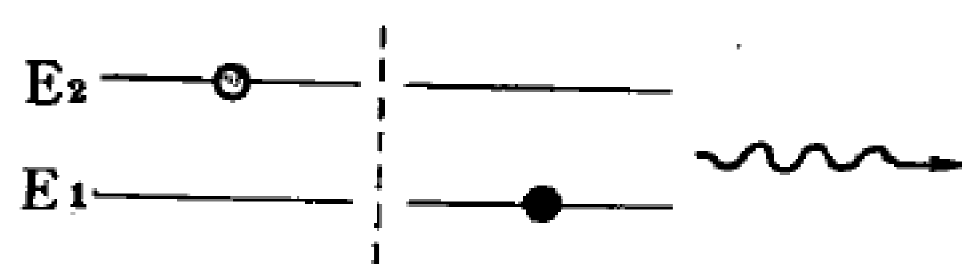
在1953年及1954年間，瑪利蘭大學的韋伯（*Joseph Weber*），哥倫比亞大學的湯里士（*Charles H. Townes*）及俄國的白沙夫（*N. G. Basov*）與諾曼諾夫（*A. M. Prochorov*）分別想到了利用促使發射（*stimulated emission*）而製造電磁波放大器的概念。他們不約而同地建議以波長約爲數吋的微波（*microwave*）爲對象，因爲微波在技術上較易控制。微波的波長比可見光波約長10,000倍，並能以分子運動產生，其情形恰如原子之產生可見光一般。

原子吸收電磁波或光子後，光子的能量便轉存於原子中，並將原子

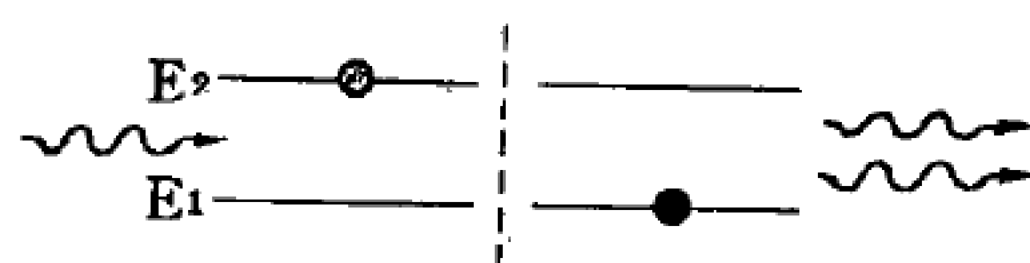
提升至激發狀態（*excited state*），這種相反的過程稱之爲促使發射。激發態的原子可能會自然地再放出光子，卸下能量而重回至基礎態（*ground state*），但激發態的原子亦可受外來另一光子的撞擊而促發光子，這就是所謂的促使發射過程。但是外來光子必須要和促發光子的能量相同。外來光子因有新夥伴的加入而威力增強。這種過程有一極重要的特點：促發而出的光波與引發的入射光波相位（*phase*）是相同的，這個特性就成爲雷射原理的核心，見圖 17—80。



(a)吸收光子



(b)自然發射



(c)促使發射

圖 17—80

促使發射（見圖(*c*)）與吸收光子（圖(*a*)）及自然發射（圖(*b*)）之比較。在基礎態（黑色點）的原子吸收一個光子（波形箭頭）後它便被激發至高能階（灰色點），此後激發的原子（中央左方）可能自然發出能量及光子而恢復其原來的基礎態（中央右方），但一個激發的原子（左下方）也可受外來光子的撞擊而恢復至基礎態（右下方），此時它除了入射光子外還另放出一個光子來。

1954 年，高登（*James P Gordon*），吉革（*H. J. Zeiger*）和湯里士所製的原始雷射係利用氨分子的振動來供給微波的振盪。此種原始的雷射是一個小小的金屬盒子，充以激發態的氨分子。當微波進入盒內，激發態的氨分子就會發射出很純淨、很強烈的高頻率微波波束，遠比以往所能得到的微波更爲同調。用氨分子做成的雷射極爲穩定可達 100 兆分之一，若用雷射振盪器來計時，準確度可達 1,000 年中至多有 1 秒鐘的誤差，因此可做成極準確的原子鐘。此原始雷射所以利用氨分

子，乃因氨分子有兩個特別的能量階，其能量差相當於頻率23,870 *MHz*。氨分子對於不均勻的電場也會發生作用，這種作用取決於氨分子的能量階：在同一電場中，低能量階的分子被吸引，高能量階的分子被排斥。因此我們能把低能階的分子從高能階的分子中分開，激發態（即高能量階）的氨分子得以進入共鳴腔，而不會發生很多麻煩。

【颶風】（Hurricane）

在熱帶海洋上積集的溫暖而潮濕的空氣，向上旋轉，到風暴中心之處成爲雲團，環繞著平靜的風眼。如此流動的空氣，因地球的旋轉，而緩緩轉動。當它接近風暴中心時，轉動速度加快，再向上移動及離開風暴中心之前，便形成破壞力很大的風。

假使改變環繞風眼的雲的狀態，破壞它的力量，使集積在風暴中心一帶的能量分散，可以減弱風力，降低它造成的損失。

撒播試驗主要是在雲中撒播碘化銀粒子，使接近風暴中心之處氣壓減低，風眼周圍的壓力差度不致太懸殊，因而減弱風力。

這種撒播法非但可以減弱風力，而且還可以調整降雨量。

【黏阻】（Viscosity resistance）

在流動流體內作用於物體的阻力中，物體表面摩擦力的合力部分，稱爲黏阻，由於流體黏性所引起，故有此稱。在雷諾數R小的流動中，通常黏阻比壓阻非常小，但在流線型物體，阻力幾乎只有黏阻。尤其邊界層爲片流（層流）時，比湍流時阻力小。

【黏性】（Viscosity）

黏性爲流體於流動中所生之內部阻力。可設想流質乃由許多極薄之層累疊而成；其由一層平面施加於鄰層平面之正切作用力，可減低其流動速度。當液面物體前行時，緊接其面之液層即以同速拉向前，液內各層則隨深度之增加而變小，終至速度爲零。

設液體流動穩定，在初速度爲零（即不動）之液層與其上任一動的

平面間，速度差和距離之比爲定值，稱爲速度梯度（*velocity gradient*），即

$$速度梯度=\frac{V（速度差）}{l（距離）}$$

此一現象足以說明下一液層對其上之運動有所阻礙的作用，此阻力與面積乘速度梯度成正比：

$$F=\eta\frac{AV}{l} \quad 或 \quad \tau=\frac{F}{A}=\eta\frac{dv}{dl}$$

τ 爲單位面積之阻力，比例常數 η 稱爲黏性係數(*coefficient of viscosity*)，爲測量流質黏度之絕對標準：

$$\eta=\frac{F/A}{V/l}=\frac{Fl}{AV}$$

黏性係數的單位，在C.G.S.制爲厘米$^{-1}$ 克秒$^{-1}$，英制單位爲磅秒呎$^{-2}$。爲紀念對此項物理性質研究極有貢獻之法國物理學家帕醉（*Poiseuille*），此單位又稱泊（*poise*）。即相當加 1 達因之力於相距 1 厘米，而面積爲 1 平方厘米之兩流質層上，使其生每秒 1 厘米之滑動速度時之黏性。因有許多物質，包括常作爲比較標準之蒸餾水，其黏性係數在標準溫度（20°C）下僅爲數十或數百分之一泊。故通常用一較小之單位“厘泊”（*centipoise*），即$\frac{1}{100}$泊表示之。

氣體的黏性小，隨著溫度而增加，大致與壓力無關。在液體內，通常溫度增加則黏性減少，而壓力增加則黏性增加。溶液的黏性與溶劑的黏性、溶質種類及濃度等有關。

【黏性係數】（Coefficient of viscosity）

參閱“黏性（*Viscosity*）”條。

【黏性流體】（Viscous fluid）

在眞實溶液中，若流速因位置而異，則產生切應力以抵銷速度差，

這種性質就是黏性。討論流動時不能免計黏性的流體，稱爲黏性流體。黏性流體的運動，遵守那維爾（*Navier*）、司托克士（*Stokes*）運動方程式。尤其黏性大速度小（即雷諾數小）的流動，可用司托克士的近似法或奧先（*Ossen*）的近似法。反之，黏性小速度大（即雷諾數較大）的流動可用邊界層理論。

【黏度計】（Viscosimeter）

用以測量流體黏性的儀器。一般設計原理可分三種：

1. 根據帕醉（*Poiseuille*）方程式，即測定一定容量之試液，流經一定長度及半徑之毛細管所需要之時間，通常均由已知絕對黏度之標準液之對比測定時間，求得其相對或絕對黏度。

2. 依據司托克士（*Stokes*）方程式，即測定一定大小及比重之落體在試液中落下之速度，以計算其試液之絕對黏度。

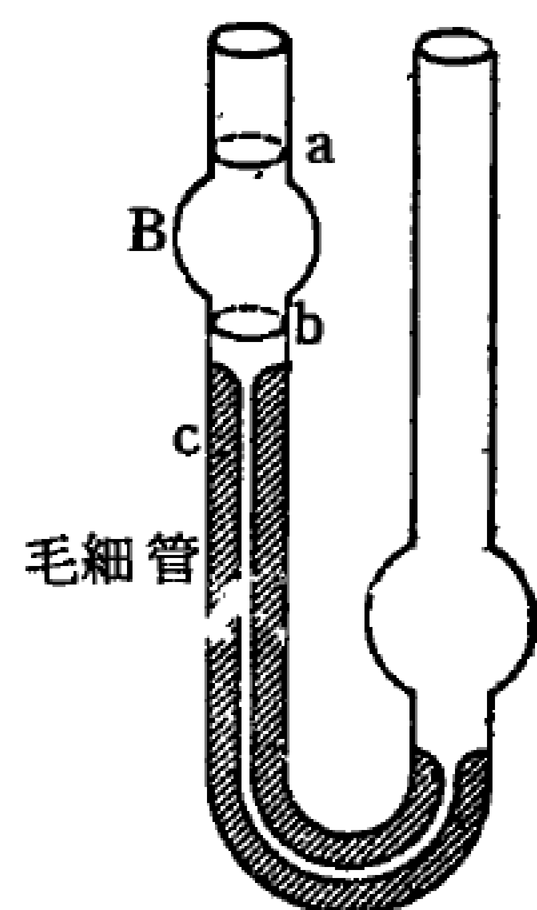


圖 17 — 81

3. 由試液於兩轉動物體間所發生之扭力，以推算其黏度。

圖 17 — 81 即爲一黏度計簡圖。這是由一球形物及連接一毛細管 C 所構成。球形物中盛以液體，量取液面由表記 a 至表記 b 所歷之時間。應用 $\frac{\eta_1}{\eta_2}=\frac{\varphi_1 t_1}{\varphi_2 t_2}$ 公式即可求出相對或絕對黏度。式中 φ 爲密度，t 爲時間，η 爲黏性係數。

【黏彈性】（Viscoelasticity）

1863年由馬克士威首先提出，液體具有切變彈性，但因剛性係數小，而且張弛時間非常短，所以測不出來。後來弗牢因度里（*H. Frendlich*）在膠溶液中撒佈鎳粉，並由外界加上或除去磁場，即觀察出鎳粉的移動和除去磁場後的恢復情形，此性質稱爲流動彈性。此現象表示膠溶液具有黏性，同時亦具有切變彈性。黏性和切變彈性總稱爲黏彈

性。具有黏彈性的液體流動稱爲馬克士威流動，和非彈性流動一起包含在非牛頓流動內。

【點火】(Ignition)

現代內燃機多用電火花點火，爆炸的全程（即爆炸本身的持續時間）可從表中的數據看出：

體積		所生最高壓力	爆炸持續時間	所生最高溫度
煤 氣	空 氣	（大氣壓）	（秒）	（°C）
1	4	5.6	0.16	1,600
1	6	6.3	0.04	1,800
1	14	2.8	0.45	800

混合氣體的初步壓縮（*preliminary compression*）愈大，爆炸愈強烈，故壓縮可提高引擎的功之輸出，換句話說，點火前進氣的壓縮愈強，內燃機的效率愈高。但有一點須特別注意，即壓縮的熱效應問題。我們不應該使氣體在點火之前爆炸，否則活塞會在衝程中的不利位置受到推力，這樣一來引擎就會受損了。汽車引擎的爆聲（*knocking*）就是由於爆炸時間與活塞位置沒有調好而造成。

【點光源】(Luminous point)

凡有光自一物體發出者，無論其爲發光或被照體皆爲光源（*luminous source*），其可視爲一點者，稱爲點光源。

【點接觸型二極管】(Point-contact diode)

金屬點接觸型半導體整流器（通常是鍺）。其工作的基本原理與面接合型非常接近，它是把一塊N型半導體和一塊P型半導體接合一起，封在玻璃管中而成，這接觸的區域，可當作一P-N接合。如圖17—82即爲點接觸型二極管構造簡圖。

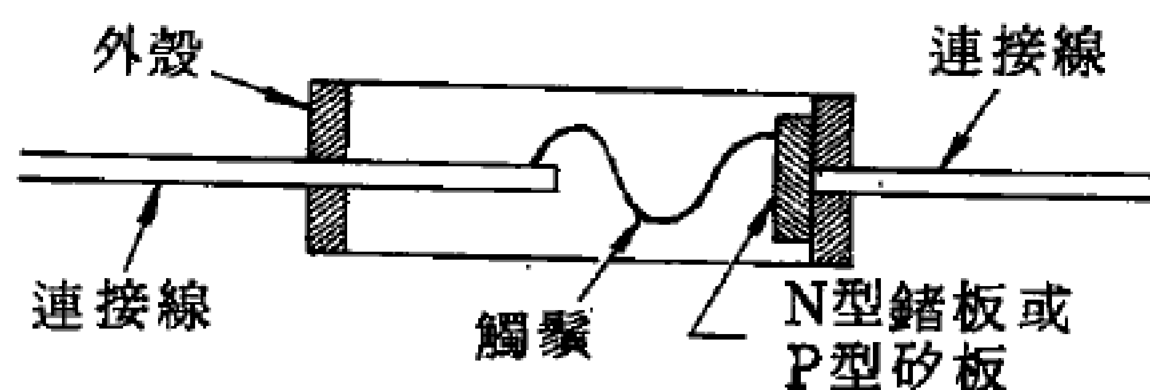
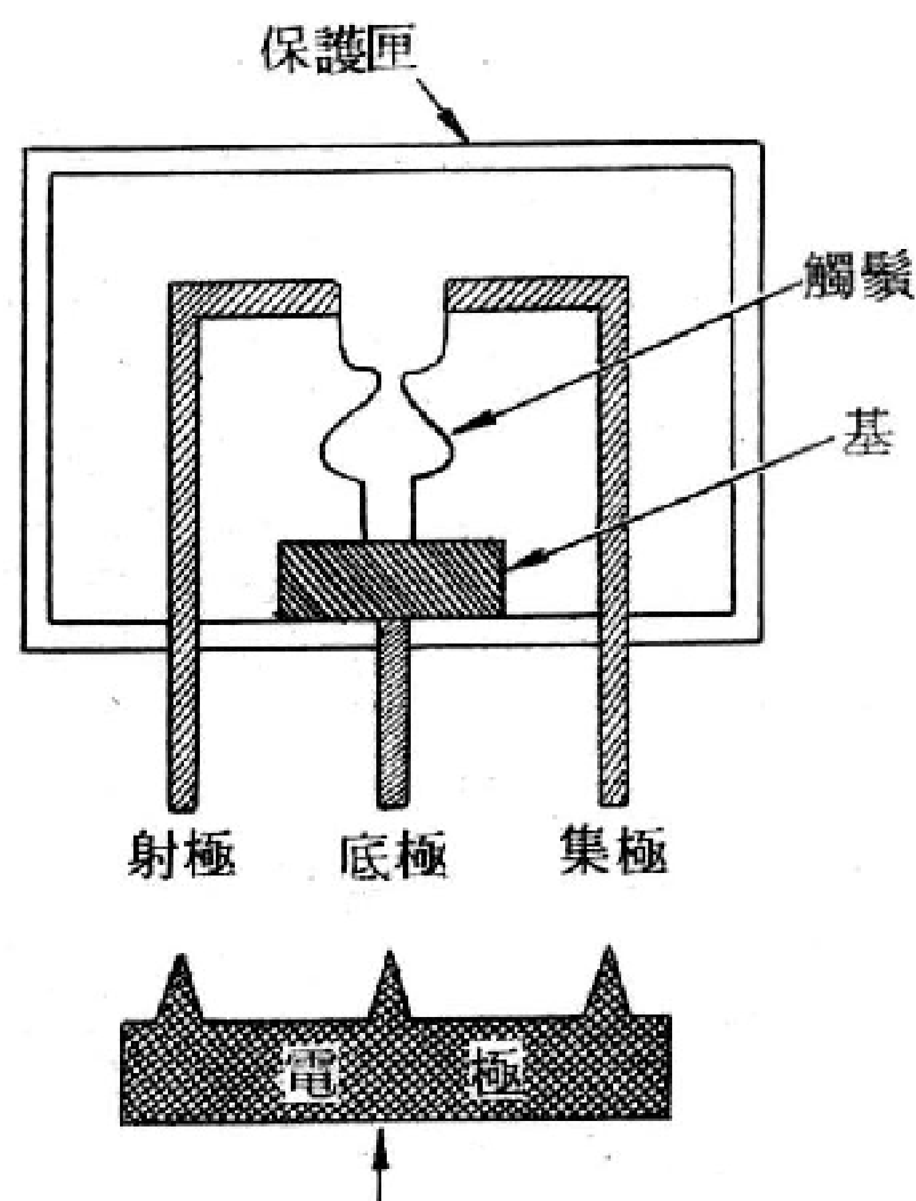


圖 17 — 82

【點接觸型電晶體】(Point-contact transistor)

點接觸型電晶體爲一包含N型半導體小塊，與小塊相接觸且相離極近的兩根尖金屬，此種構造可視作一P-N-P接合裝置。如圖 17 — 83 所示，此種裝置普通工作於中波或長波的射放級，如果把底座接地，工作更爲安定。



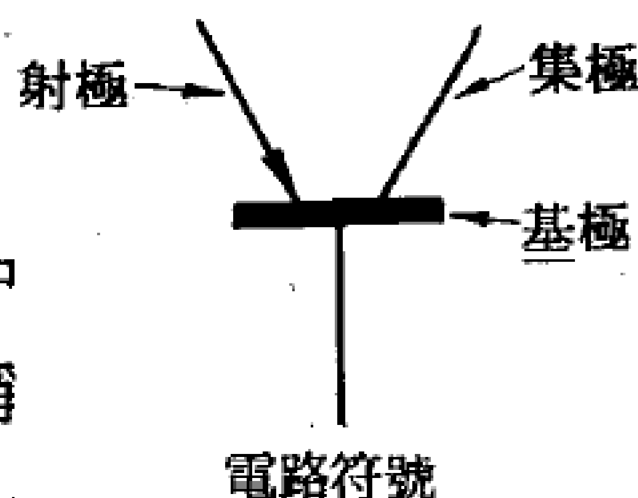


圖 17 — 83

【點群】(Point groups)

固定有限物體中的一點所形成的對稱群稱之爲點群。其中所有對稱成分均爲可使晶格不變的運算，晶體中共有32種點群。例如C_{2v}（或稱$2mm$）點群中共有四個成分，包括一個二重旋轉，二個對垂直於二重軸平面的反演。

【點電荷】(Point charge)

在庫倫定則中，兩帶電體之基本電荷視爲點電荷。我們知道電子的半徑大約不超過10^{-13} cm，即使是很重的元素，其原子核的電荷分佈的範圍也不會超過10^{-11}

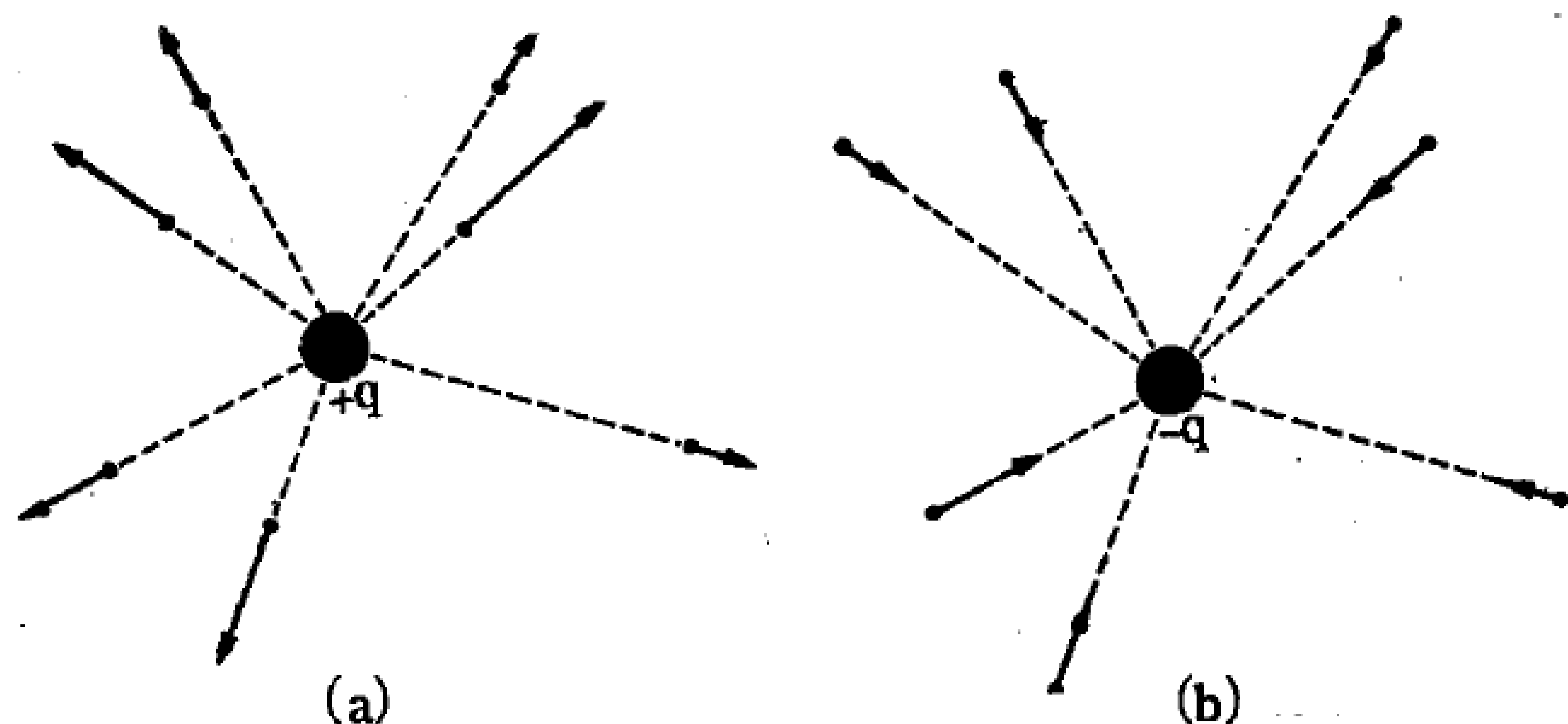


圖 17 — 84　由正電荷與負電荷所構成之電場

cm。因爲它是這樣地小，所以在古典兩磁學中，對於它的大小與結構都不予重視；不過由於現在對原子的認識，使得帶電粒子在描述自然現象時顯得非常重要。因此我們很少再將帶電粒子看作理想化的點。

一個點電荷的電場強度可由方程式

$$E=\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

求得。圖 17 — 84 (*a*)指出一正電荷附近之電場，而(*b*)表示一負電荷附近之電場。

當數電荷存在時，其總電場爲各電荷所引起的電場向量和，即爲

$$\vec{E}=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\vec{E}_3+\cdots\cdots\cdots$$

至於一點電荷所引起之電位可以 $V=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$ 表示。電位 V 爲正或爲負，依據電荷 q 之符號而定。如圖17 — 85 (*a*)和圖(*b*)分別表示正電荷和負電荷之等位面與電力線。

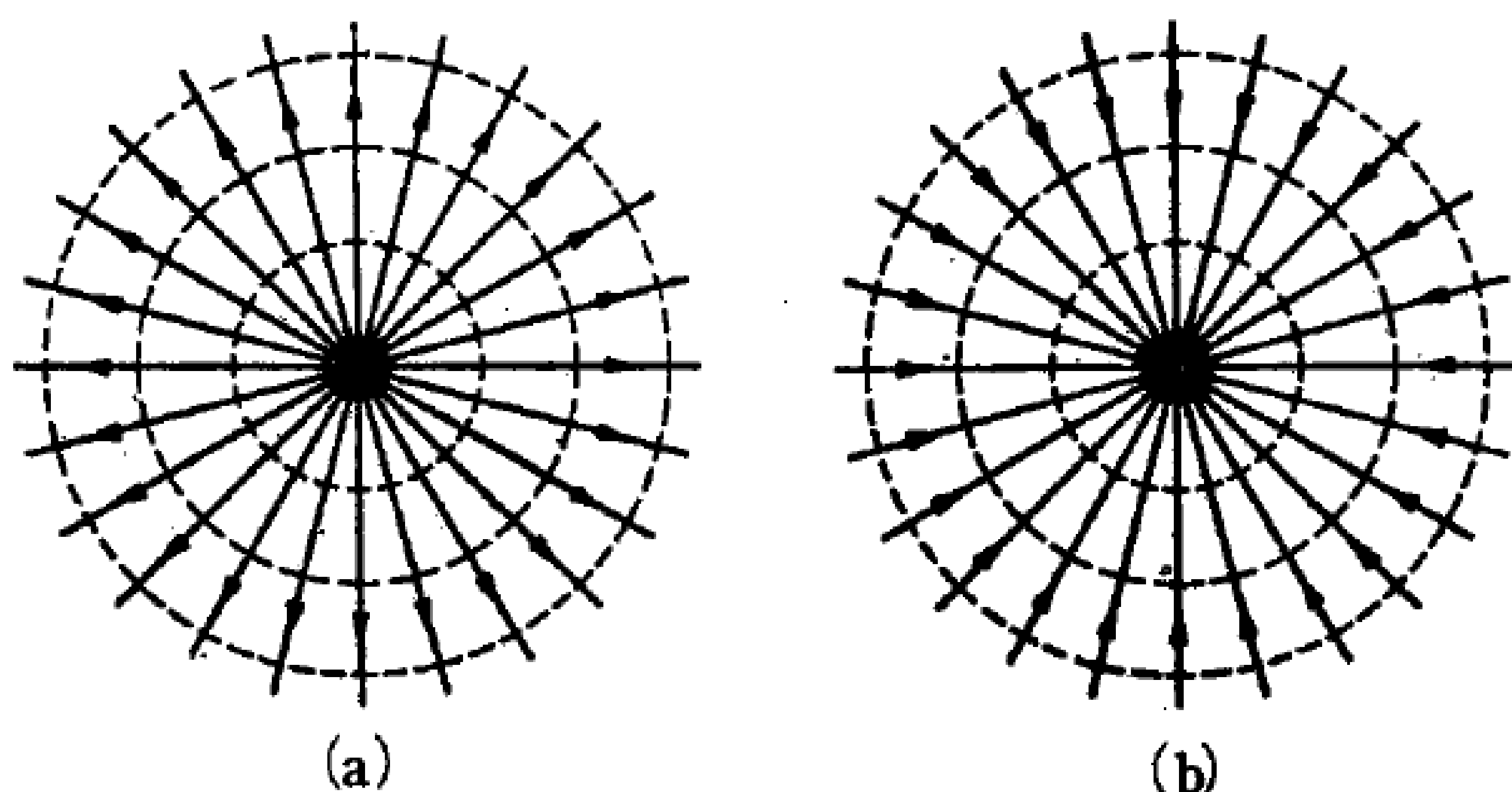


圖 17 — 85　正電荷與負電荷之電力線與等位面

如有若干電荷 q_1，q_2，q_3，………對一點所形成之電位，則爲它們個別電位之無向量和，即是

$$V=\frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1}+\frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2}+\frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 r_3}+\cdots=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i}{r_i}$$

【點運算】(Point operation)

形成點群的運算謂之點運算，包括對晶格中某一軸所作之反轉、轉

動，或對某一面的反演等。

【點滴冷凝】(Drop condensation)

點滴冷凝時固體表面附著許多水滴，這些水滴沿固體表面滑下，此時氣體和固體表面直接接觸，熱由氣體可直接傳至固體上，故其導熱量很大。點滴冷凝時其每單位時間及單位面積的導熱量，是所有熱傳遞中的最高者。

十 八 畫

【儲存器】(Storage)

儲存器也就是在電子計算時所用的"記憶器"。對人來說，如果沒有記憶就沒有辦法思考以及解決很多思想上的問題；對於機器，如果缺了它，就不能做連續的運算動作，這當然是因爲儲存器中可儲存加法運算的結果、運算用的公式、成群的數、互換率、折扣率、三角函數、拉丁文法規則以及銀行的會計帳目等等。儲存器越大，記憶的容量就越大，那麼計算機就能解決更多更複雜的問題。

計算機的儲存器可以分爲幾個獨立的部分，如所謂的輸入儲存器及輸出儲存器。輸入儲存器是用來儲存需要運算的資料；而輸出儲存器就是存放那些已經算好了的資料；由輸出儲存器，運算好的資料就可以被送出，而由電傳打字機印在紙上。

另外一個獨立的儲存器，就是中間儲存器，這個儲存器可以把還要繼續運算的中間結果，做臨時性的儲存。有一種比較特殊的中間儲存器，就是聚集器(*accumulator*)，它也是算術單位的一部分。聚集器的作用，是存放中間結果，又能把中間結果立刻送入方格電路，與另一從儲存器送入方格電路的數，做連續的運算，運算所得的新結果，又可存入聚集器中。中間儲存器通常稱爲暫存器(*buffer*)或高速儲存器，因爲這種儲存器，所能儲存資料時間非常短，有的甚至於只能存幾分之一秒。爲了能夠配合算術單位的運算速度，當然聚集器(暫存器)，需要以高速接受所存入的資料，然後再以高速度送出去才行，否則就會減低整個計算機的運算速度。專家們稱這高速度儲存器爲記錄器(*register*)，在一架計算機裏，記錄器也就是最昂貴的部分。

電子計算機中，又有一種儲存器被稱爲工作儲存器(*working storage*)或工作記憶器的，這種名稱對整個記憶器的分類來說，它的

意義非常含糊不淸，也許眞能在記憶器裏，找出這種被稱爲工作記憶器的部分，也許你根本就找不到。

大量的資料，如銀行每日的帳目、郵購商店的帳目、科學用的對照表以及翻譯機本身所要用的字典，全部都得存入補助儲存器（*auxiliary storage*）中，補助儲存器可以說是計算機本身的一個圖書館或記錄室，也可以說是計算機的大倉庫。

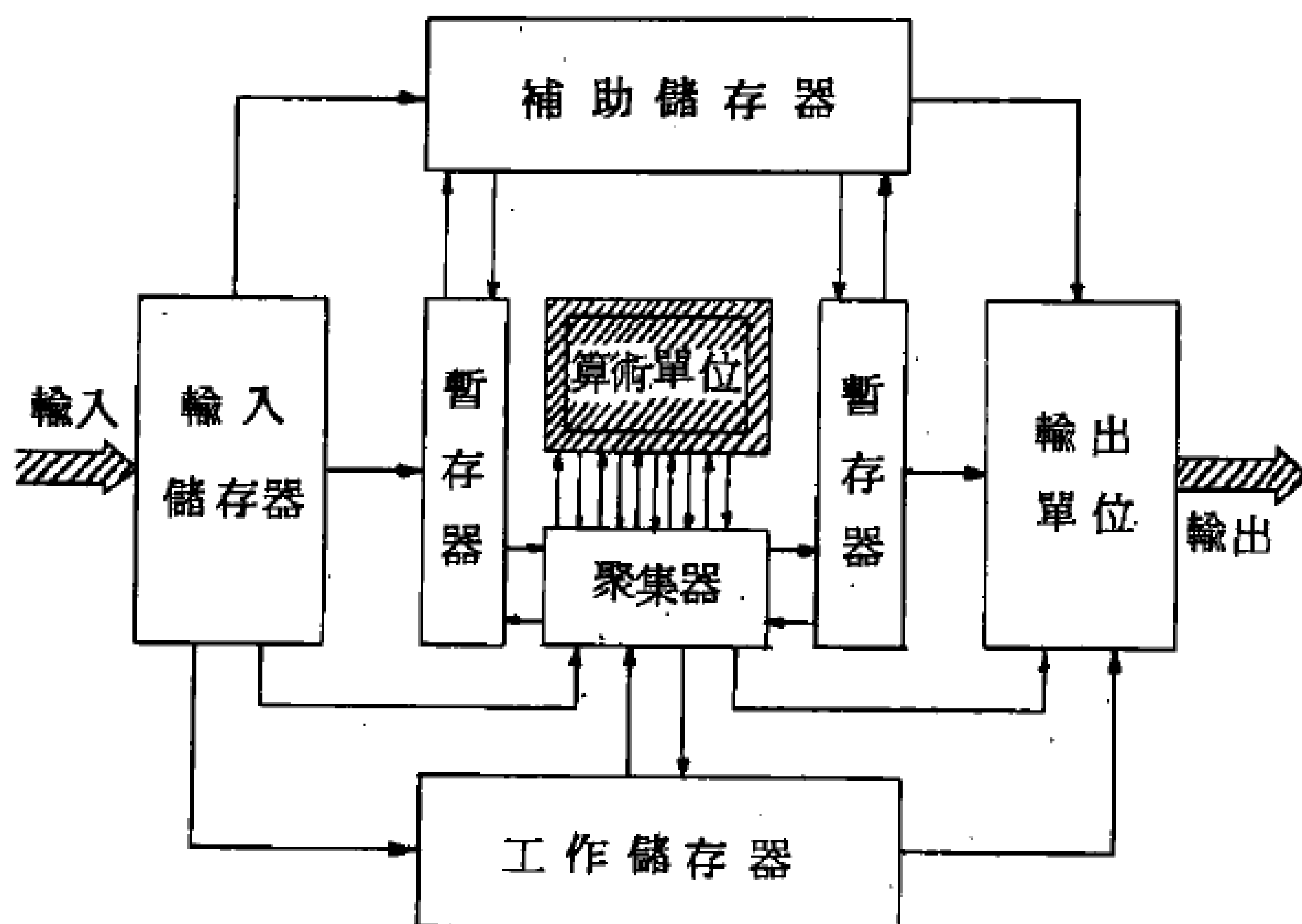


圖 18—1

關於各個記憶器之間的關係，以及記憶器與算術單位間的關係，如圖18—1所示。這只是一個大略圖，從圖上所能眞正瞭解的，也只是各種記憶器的功用而已。在電子計算機，實際上並不能夠把記憶器分得如此淸楚，往往輸入儲存器、輸出儲存器以及工作儲存器，都是屬於同一儲存單位；而補助儲存器與工作儲存器，更是不能分的。此圖只能算是一個理論上的模型，當然事實上並非如此的。在一個眞實的記憶單位裏，各種記憶器根本無法分開，只有在用它的時候，那一部分記憶器作何用途，就稱那一部分的記憶器爲何種記憶器。

【儲能】（Tank）

如電子管屏路中的並聯諧振電路，稱爲儲能電路，本身含有儲能作用，電能在此電路中，線圈與電容器彼此向對方傳送電力。

【儲能電路】（Tank circuit）

一感應器與一電容器並聯之共振電路裝置。

【擴展器】(Expandor)

擴展器加入在放音器中，目的是使較強的信號放大愈強，弱的信號放大愈小，務使揚聲器放出的音與原音接近。

【擴散】(Diffusion)

一種或兩種以上不同物質之分子互相接觸時，經若干時間後，終於完全混合，變成均勻濃度的現象稱為擴散。例如把噴有香水的手帕或鮮花擱在一個密閉房間的角落，經過一段時間後，在房間內到處都可聞到芳香。又如將一塊方糖置於一杯水中，方糖漸漸溶解，同時被溶解的糖分子經由水擴散，最後完全散佈於水中。

在氣體、液體和固體中都可以產生擴散現象，其原因乃由於分子的熱運動所引起。擴散以及熱傳導和黏性通稱為運輸現象，其分別將物質(質量)、熱能、動量由一位置移至另一位置，而變成均勻的現象。物質直接互相接觸時，稱為自由擴散；經過隔離物質進行時，則稱為滲透。

【擴散方程式】(Diffusion equation)

擴散現象可用濃度 C 對時間、空間變化的擴散型(熱導型)微分方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t}=D\left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 C}{\partial z^2}\right)=D\nabla^2 C$$

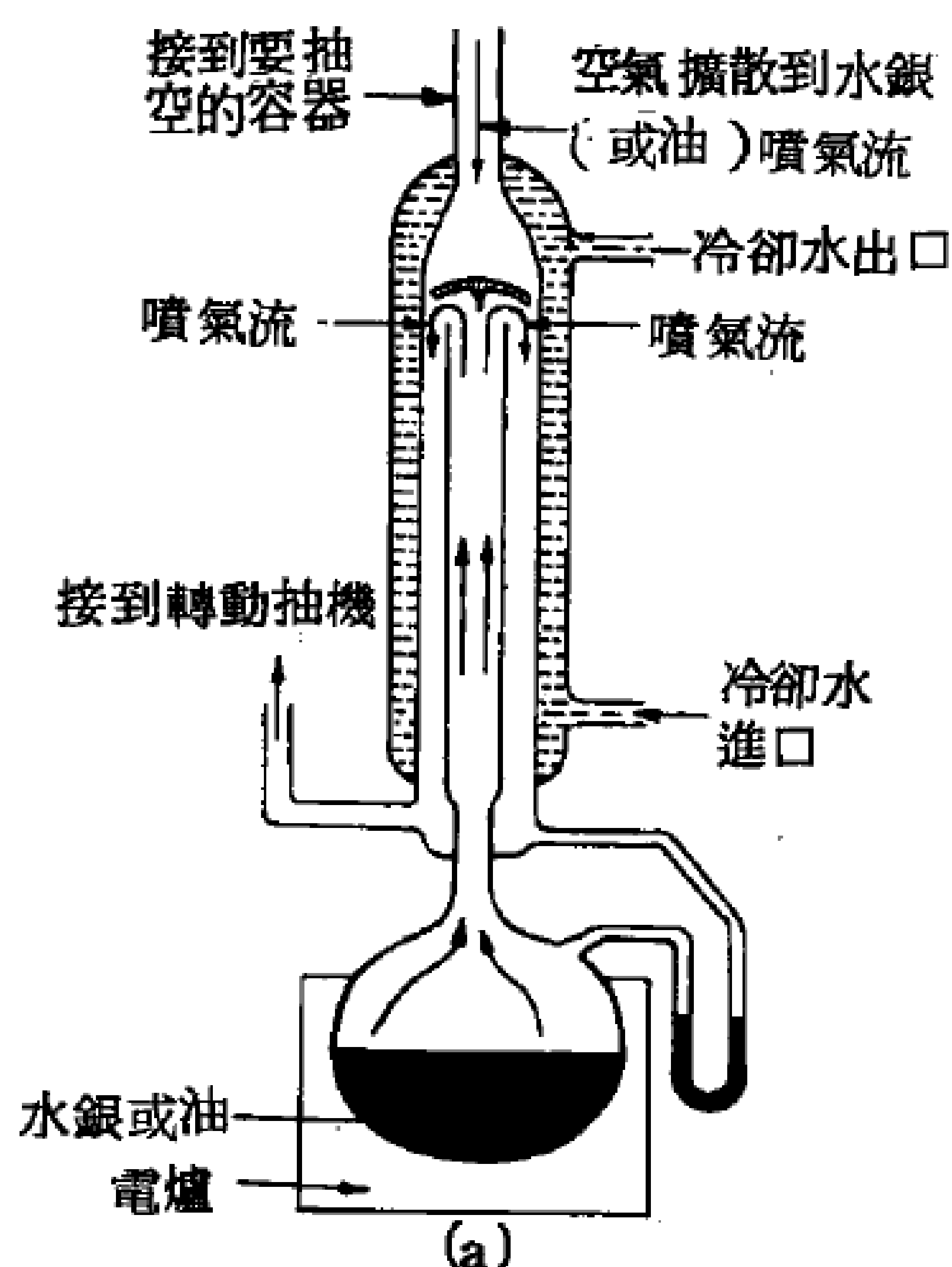
描述之，但假定分子的自由路程相當小。式中 C 是濃度，D 為擴散係數，因次為 L^2T^{-1}。$(4Dt)^{\frac{1}{2}}$ 相當於在時間 t 內的粒子擴散距離的平均，猶如電場內的帶電粒子。若擴散粒子受外力 $\vec{F}$ 的作用，則方程式變為

$$\frac{\partial C}{\partial t}=D\nabla^2 C+\nabla\cdot(vC\vec{F})$$

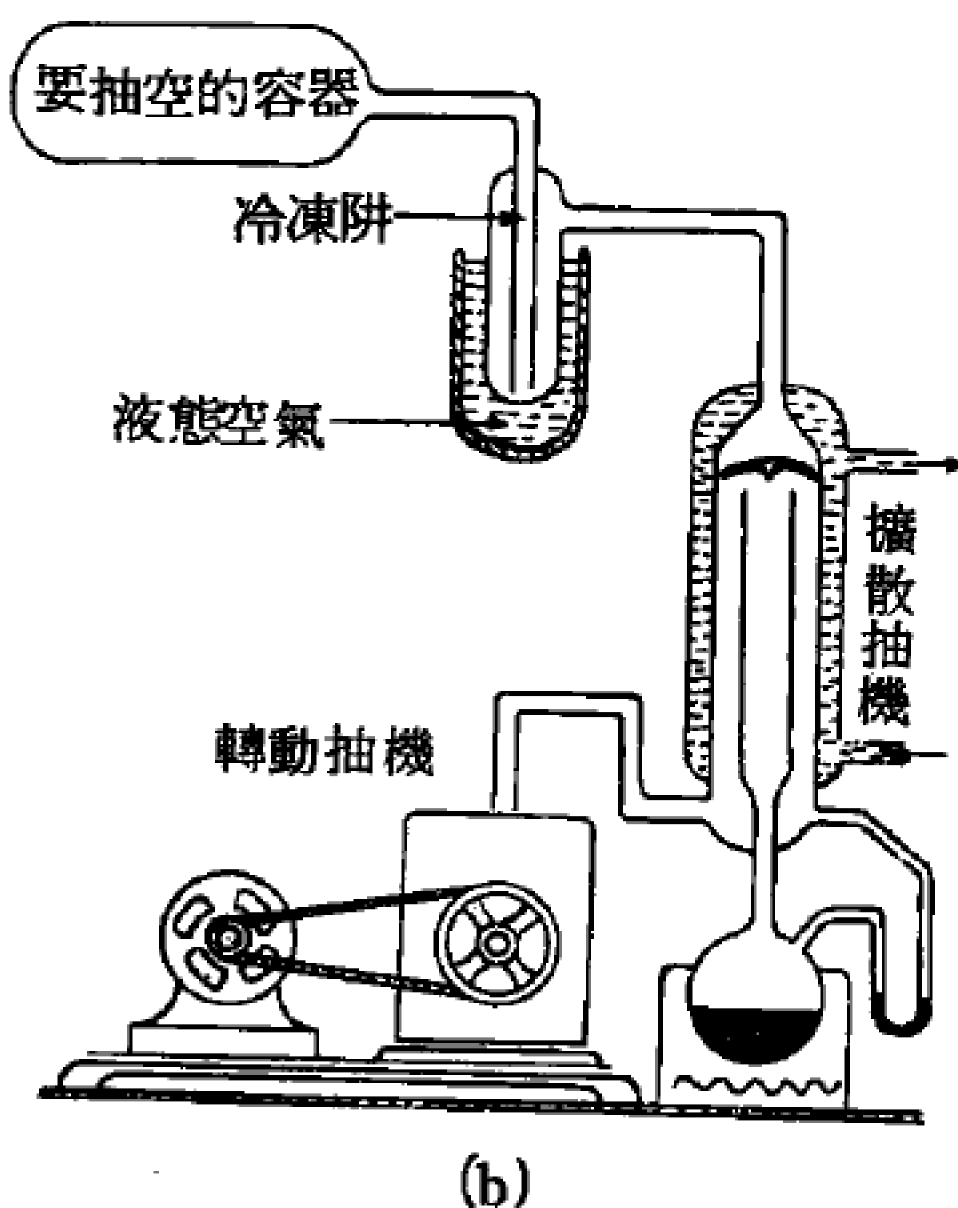
式中 v 為遷移率(*mobility*)。

【擴散抽機】(Diffusion pump)

擴散抽機係於1915 年由革得(*Gaede*)所發明，是製造10^{-4} *mmHg* 以上高度真空的利器。利用快速流動、蒸汽壓甚低的油汽或水銀蒸汽所形成的分子噴流，將待抽容器中氣體分子沖走或推走。因待抽容器中的氣體分子一直向分子噴流擴散，故稱爲擴散抽機。有垂直型、水平型，又有用水冷卻、空氣冷卻等。其原理如圖 18— 2 所示，擴散抽機內的氣壓必須用轉動抽機抽至始終可維持分子噴流的程度(10^{-2} 毫米水銀柱以下)。分子噴流單位體積中的氣體分子數須比容器內者少，否則氣體會倒回而擴散至待抽容器內。擴散至噴流中的氣體分子被轉動抽機除去(此抽機稱爲初段抽機)，而水銀蒸汽或油汽即在低溫的器壁上凝結，並回至容器底部的*U* 形管內。若將液態空氣阱接在擴散抽機和待抽容器之間，以使水汽和其他無用的蒸汽凝結，並將待抽容器加熱而驅走器壁吸著氣體，則容器中氣壓可減至10^{-8}毫米水銀柱。



(a)



(b)

圖 18—2

【擴散係數】(Diffusion coefficient)

一種氣體內有濃度差時，因擴散而產生濃度變化，表示其變化速率的係數稱爲擴散係數。由氣體動力論可以導出擴散係數D與絕對溫度T的$\frac{3}{2}$方成正比，與壓力p成反比，即

$$D \propto T^{\frac{3}{2}} / p$$

由此可知溫度愈高，擴散愈快。對液體及固體結果亦同，而固體的擴散可用以製造電晶體。

【擾亂流】(Turbulent flow)

流線、流管隨時改變的流動，稱爲擾亂流。

參閱“穩定流 (*Steady flow*)”條。

【擺】(Pendulum)

繫錘於細絲之一端，從他端懸之，向一側牽引錘，放之，則錘以一點爲中心，左右振動，是爲擺。擺遵行下列公式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgr}}$$

式中m爲擺的質量，g爲重力加速度，r是質心到擺固定點的距離，I是慣性距。

參閱“單擺 (*Simple pendulum*)”條。

【擺之定律】(Law of pendulum)

擺之振動週期與振幅大小無關。

【擺長】(Length of pendulum)

懸點至擺質量中心之距離。

【擺動器】(Wobbulator)

當我們校準一調幅接收機的中頻放大電路時，爲了要獲得正確的選擇性或諧振情況，可用一擺動器作爲輸入信號之源，另在示波器 (*osc-illoscope*) 幕上觀察其頻率響應曲線的情況。擺動器的動作原理如下：

一可變的空氣電容器 (*air condenser*)，其動片由一電動機將其

轉動，即不斷改變它與靜片的相對位置，使電容量有週期性的增減變化。此電容器連接至一信號產生器的振盪電路，使此電路的總電容量的大小由動片與靜片間的相對位置決定。因此，亦使振盪器輸出的頻率有週期性的增減變化，且其輸出信號的強弱能維持均一不變。一如調頻波所要求者。又動片旋轉的速率或其每秒轉動之次數，即為輸出頻率在每秒內發生增減的次數。所以擺動器可視為雛型的頻率調制器。

【擺線擺】(Cycloidal pendulum)

擺線（*cycloid*）是由在平面上滾動的圓盤邊緣上之一點所劃過的軌跡，如圖 18－3 所示。限制一質點在鉛直面上的擺線，做往復運動的裝置，稱為擺線擺。擺線擺之週期和振幅的大小無關。

圖 18－3　擺線的定義

我們在鉛直面內建造一條擺線形的滑道，讓一質點在重力作用下沿滑道來回滑動，則運動的振幅決定於質點放落之位置，但其週期恆為定值。

圖 18－4　擺線與擺線擺的原理

擺線的參數方程式可以寫成

$$x = a(\theta - \sin\theta)$$

$$y = -a(1 - \cos\theta)$$

式中 a 代表圓盤的半徑，θ 代表圓盤所轉過的角度。點自和平面的接觸點開始，隨盤的轉動沿擺線移動，移動的增量

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = [\,a^2(1-\cos\theta)^2 + a^2\sin^2\theta\,]^{\frac{1}{2}}\, d\theta$$

$$= \sqrt{2a^2(1-\cos\theta)}\, d\theta = 2a\sin\frac{\theta}{2}\, d\theta$$

因此，質點沿擺線的切線加速度等於

$$\frac{d^2 s}{dt^2}=\frac{d}{dt}\left(\frac{ds}{dt}\right)=\frac{d}{dt}\left(2a\sin\frac{\theta}{2}\frac{d\theta}{dt}\right)$$

$$=-4a\frac{d^2}{dt^2}\left(\cos\frac{\theta}{2}\right)$$

當質點在圖 18－4 所示的位置時，擺線的斜率

$$\tan\alpha=\frac{dy}{dx}=\frac{-a\sin\theta}{a(1-\cos\theta)}=-\cot\frac{\theta}{2}$$

或

$$\sin\alpha=-\cos\frac{\theta}{2}$$

所以依牛頓運動定律，切線運動方程式爲

$$-mg\sin\alpha=m\frac{d^2 s}{dt^2}$$

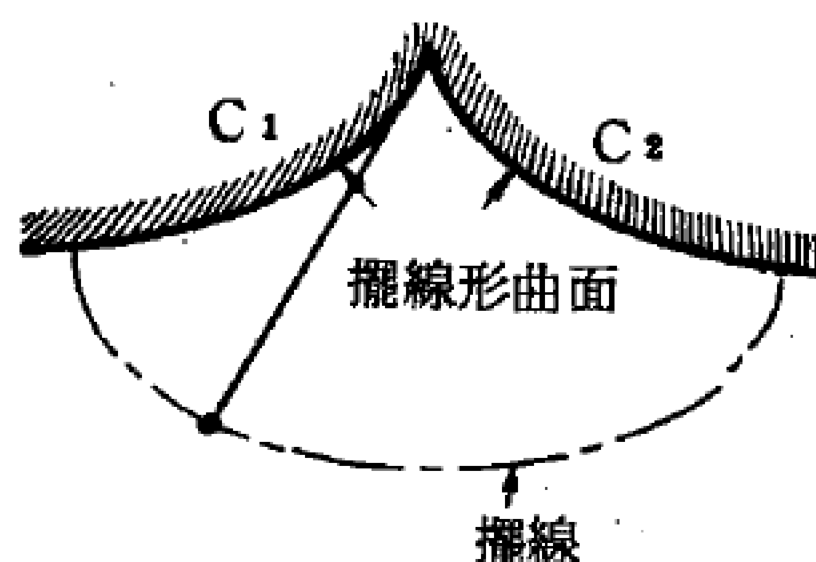


圖 18－5　擺線擺

或將 $\sin\alpha$ 和 $\frac{d^2 s}{dt^2}$ 的 θ 函數代入

$$g\cos\frac{\theta}{2}=-4a\frac{d^2}{dt^2}\left(\cos\frac{\theta}{2}\right)$$

移項後即變成

$$\frac{d^2}{dt^2}\left(\cos\frac{\theta}{2}\right)+\frac{g}{4a}\left(\cos\frac{\theta}{2}\right)=0$$

在擺線上擺動時，$\cos\frac{\theta}{2}$作簡諧運動。其角頻率 $\omega=\sqrt{\frac{g}{4a}}$ ，所以擺線擺的週期

$$T=4\pi\sqrt{\frac{a}{g}}$$

因爲上面的微分方程式沒有用到近似值，所以這個週期是和振幅無關的。

製作一個擺線擺之實際方法如圖 18－5 所示，圖中 C_1，C_2 爲兩個擺線形之曲面。根據幾何上的理由，可以證明當擺的懸線懸掛於二曲面

之間時，擺錘所劃過之路徑也是擺線，因而其擺動之週期與振幅無關。

【斷接】(Switched off)

即使電路開路。

【斷路】(Open circuit)

電路導線斷開，電流不通時，稱為斷路。

【斷路電流時計】(Break-circuit chronometer)

有通電裝置之時計。如耳機與時計相連，便於計時，每半秒、一秒或二秒之末，聲音中止，時計上之記時紙即劃有記號，每一分之末則電流中斷，故稱為斷路電流時計。

【斷路器】(Circuit breaker)

藉電磁的作用，電流超額時可以自動的斷路。如同時使用衆多之電燈或電器，或者電路、插頭發生短路，而通過與電力公司所訂契約以上之電流時，以斷路器自動阻止電流繼續流通。

【斷續等幅波】(Interrupted continuous wave；簡寫 I.C.W.)

斷續電流之波長相同者，稱為斷續等幅波。

【斷續器】(Interrupter)

用來將直流電流改變為斷續電流的一個器具。斷續器有許多不同的型式，其中業餘無線電愛好者所採用的主要是電磁斷續器。如圖 18－6，在鐵芯磁化與導線內電流共同作用下，由彈簧片的振擺，電流與鐵芯的磁性即時斷時續。電鈴、蜂音器、感應圈皆以此為主要部分。通常多裝用蹄形電磁鐵（用二條形鐵芯以同一載流導線分別繞於其上，使同極並立）以增磁力。斷續器擺動之頻率視彈簧片之性質與銜鐵之質量而定，每秒可達數百次之多。

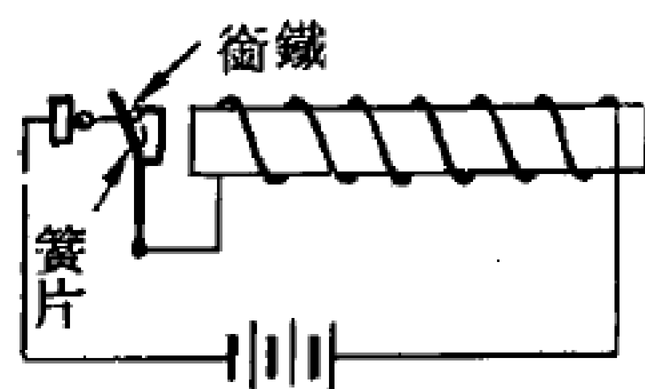


圖 18－6

【櫃型反應器】(Tank reactor)

即將核心懸置於密閉槽裏的核反應器，與一般之開放型水池式反應器不同，通常用作研究及試驗用反應器。

【檯上接頭】（Table tap）

指交流電源線接到工作檯上。

【歸順圓】（Deferent）

希臘人對行星運行，假定月球、水星、金星、太陽、火星、木星、土星等各星球以地球爲共同中心，繞地球作同心圓運動。然而這項假定與各星球實際上對地球運行並不符合，並使星球運動幾何變得非常複雜。公元二世紀，亞歷山大港的天文學家多祿某（*Ptolemy*），發展他的周轉圓理論（*theory of epicycles*），用來詮釋星球運行。在最簡單情況下，假定星球以均勻的運行描繪一圓軌道，此圓軌道稱爲周轉圓

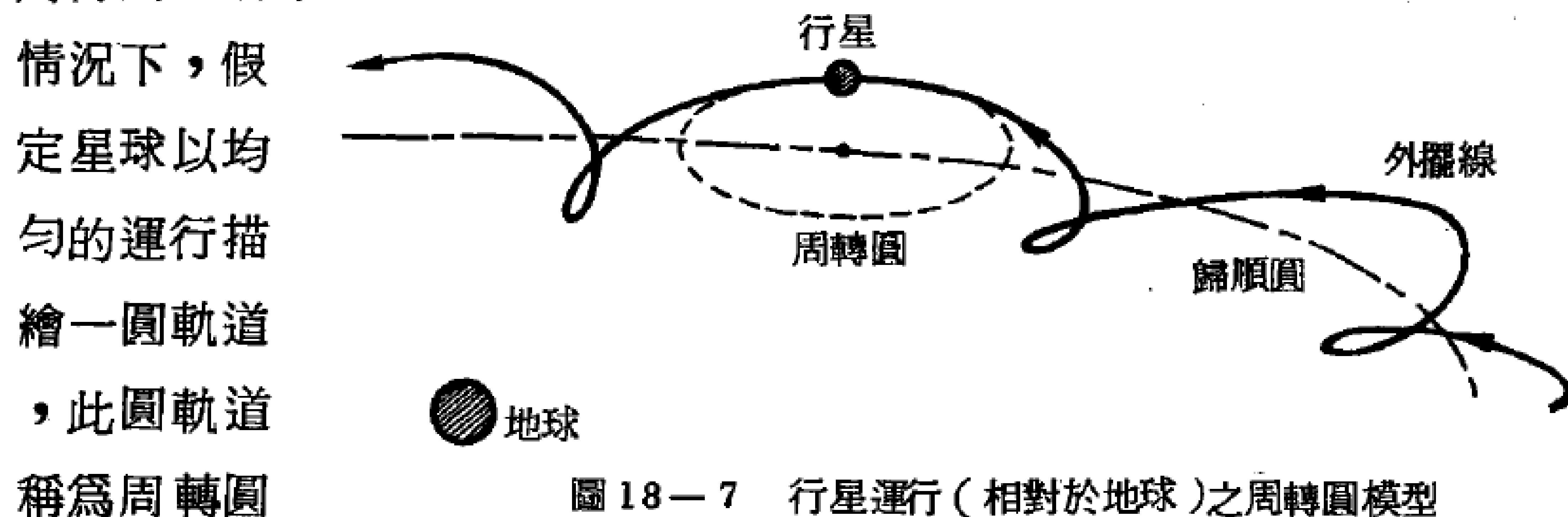


圖 18—7　行星運行（相對於地球）之周轉圓模型

，周轉圓之圓心依順序地在一以地球爲圓心的大圓上運行，此大圓稱爲歸順圓，結果星球的途徑成爲一外擺線（如圖 18—7）。於某些實例中，欲描述行星之運行，必須一更爲複雜的處理。在我們現代的術語中，古希臘人所主張者，是以地球爲參考坐標，描述星球運行而已。

古希臘人之主張一直被認爲正確，待至十六世紀，波蘭科學家哥白尼（*Copernicus*），尋求關於星球運行問題更簡單的答案，他主張包含地球的所有行星，應以太陽爲中心，相對太陽而運行。這個想法並非新創，約在紀元前三世紀時，希臘的天文學家阿里斯塔克（*Aristachus*）曾經主張過。依據哥白尼之說，行星軌道相對於太陽的順序應如次：水星、金星、地球、火星、木星與土星，月球則繞地球而運行。基

本上哥白尼所主張者是以太陽爲參考的另一坐標，在此坐標中，描述行星之運行較爲簡單。

【濾光玻璃】（Filter glass）

電視收像管的鏡面，通常都採用65％左右透光率的灰色玻璃，此種銀幕對白色的影像有十分良好的反襯作用。

【濾波抗流圈】（Filter choke）

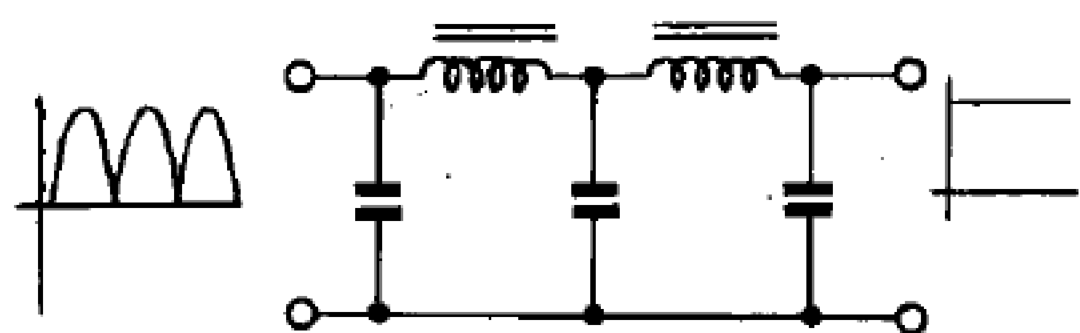
對某一些交流電負有不准通過的感應圈。

【濾波電容器】（Filter capacitor）

負責濾去某一些交流成分的電容器。

【濾波電路】（Filter circuit）

雖然整流器輸出電壓的極性永遠一定，但此電壓仍不能當作是直流電壓，以作電子管直流電源之用，這是由於整流器本身輸出電壓的波幅成脈衝或稱漣波狀。此種具有漣波的整流器輸出電壓，在加於電子管的屏極、簾柵或控制柵電路前，必須先將漣波消除，使此電壓平穩而幾乎無變動才行。爲使整流器輸出電壓平穩，必先經過濾波器網路（*filter network*）予以濾波，濾波電路是由電容器及抗流圈（*choke coil*）所構成，如圖18－8所示。


圖18－8

當電容器的外加電壓增加時，電容器藉蓄存於其靜電場的能量，以抵抗此增加的外加電壓。但當外加電壓降低時，電容器就將其蓄存在靜電場的能量變爲電壓或流動的電流，所以整流器所輸出的脈衝能量可蓄存於電容器的電場中，而在整流器所輸出的兩脈衝間，電容器緩慢的放電，因而經此電容器所輸出的電壓，其不穩定的漣波大爲減小。這也就是何以濾波電路要將一個電容器和整流器負載電阻並聯的原因。

當加於電感線圈（抗流圈）的電流增大，抗流圈藉存於其磁場的能

量以抵抗此電流的增加。但當流過抗流圈的電流減小時，抗流圈就將其磁場中所儲存的能量變為電流，以繼續維持電流的流動。因此將抗流圈與整流器的輸出端及負載串聯，可減少負載電流及電壓的突然變化。與整流器輸出端相串聯的抗流圈，其作用可由另一觀點看；抗流圈對直流電流而言，電阻（所謂的直流電阻）低，然而對交流電流（整流器輸出電流帶有變化的漣波電流）而言，阻抗（所謂的交流阻抗）非常高，因此直流較易通過抗流圈，而在交流漣波通過時，漣波則被減小。

【濾波器】（Filter）

是由電感器和電容器構成網路，可使混合的交直流電流分開。電源整流器中，即藉此網路以濾淨脈動直流中的漣波，而獲得比較純淨的直流輸出。

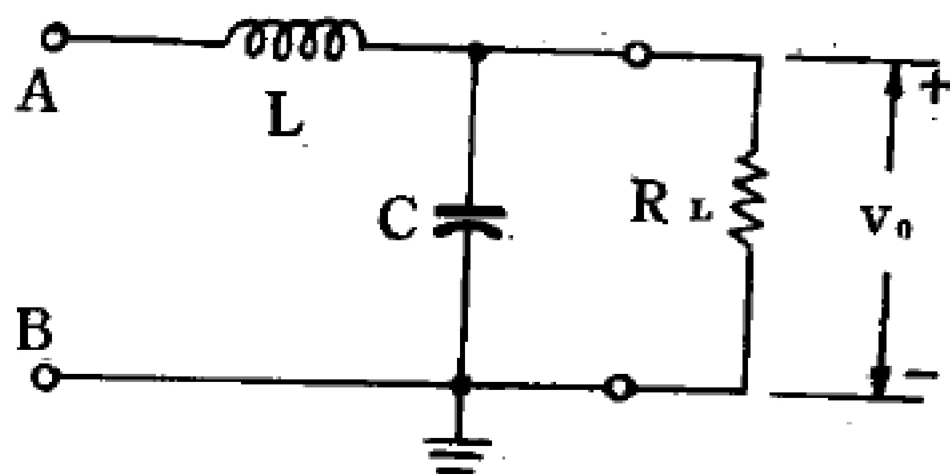


圖 18—9　L型濾波器

最基本的濾波器，是由一電容器和一電感器構成，稱為 *L* 型基本單節（*basic section*）。所有各型的濾波器，都是集合 *L* 型單節濾波器而成。基本單節式濾波器由一串聯臂（*series arm*）及一並聯臂（*parallel arm*）所組成，串聯臂為電感器，並聯臂為電容器，如圖 18—9所示。

在電源及聲頻電路中之濾波器，最通用者為 *T* 型及 π 型兩種。在視頻及射頻電路中，除利用 *T* 型及 π 型濾波器作高通濾波器（*high pass filter*）及低通濾波器（*low pass filter*）外，每藉串聯或並聯的 *LC* 配諧電路作為濾波器的串聯及並聯臂，以構成通帶（*band pass*）或帶阻（*band stop*）兩種濾波器。若以串聯配諧電路作為濾波器之串聯臂，同時用並聯配諧電路作為其並聯臂者為通帶濾波器；反之則為帶阻濾波器。

就 *L* 型單節濾波器而言，其電感抗 X_L 與電容抗 X_c，對任一頻率

爲一常數，其關係爲$X_L \cdot X_c = k^2$，故*L*型濾波器又稱爲*k*常數（*constant k section*）濾波器。

倘一濾波器的構成部分，較*k*常數型具有較尖銳（*sharp*）的截止頻率（*cut-off frequency*），而同時對此截止頻率以外之其他頻率只有較小的衰減率（*attenuation*）者，稱爲*m*常數（*m-derived section*）濾波器。所謂截止頻率，亦卽與濾波器有尖銳諧振的頻率。通帶與帶阻濾波器都是*m*常數濾波器，*m*爲截止頻率與被衰減的其他頻率之衰減比的函數。每一*m*常數濾波器的阻抗與*k*常數濾波器間之關係，均由*m*常數決定之，此常數介於０～１之間。當*m*接近零值時，截止頻率的尖銳度增高，但對於截止頻率的倍頻之衰減率將隨而減小。最合於實用的*m*值爲0.6。至於那一頻率需被截止，可調節共振臂（*resonant arm*）以決定之。*m*常數濾波器對截止頻率的衰減度，決定於共振臂的有效*Q*值之大小。

若將*k*常數及*m*常數濾波器合組成級聯電路（*cascade circuit*），可獲得尖銳的濾波作用及良好的頻率衰減。其衰減度視濾波器型式及節數的多寡而以透射曲線（*transmission curve*）表示之。一切濾波器均隨配件的*Q*值、型別及聯接的方式之不同，而有少數不同程度的介入損失（*insertion loss*）。

通帶濾波器之串聯與並聯臂均用配諧電路構成，在*A.M.*及*F.M.*廣播接收機的變頻電路中使用極廣。在電視接收機中除變頻電路外，更與帶阻濾波器配合使用，藉以使視頻與聲頻分道。

【濾波器之臨界頻率】（Critical frequency of filter）

這是濾波器中的截止頻率，在高通濾波器中，頻率低於這個頻率時，便開始衰減；在低通濾波器中，頻率高於這個頻率時，便開始衰減。這個頻率是通過與截止的界限。

【濾頻器】（Frequency filter）

參閱“波導（*Waveguide*）”條。

【瀉流】（Effusion）

氣體自小洞逸出的一種現象。1846 年格雷木（*Thomas Graham*）將氣體裝於開有一小洞的容器內，將小洞前方的空間抽成眞空。若洞甚小，使氣體分子自其中逸出時不與其他分子發生碰撞，則分子自容器內經小洞瀉出的速率與分子質量的平方根成反比。因此，若有兩種氣體由同一小洞瀉出，其速率比爲

$$V_1 / V_2 = (M_2 / M_1)^{\frac{1}{2}}$$

這是格雷木瀉流定律。此定律後經孔德生（*Kundsen*）指出，必須氣體分子的平均自由路程爲小洞直徑大小的 10 倍以上才適用。

瀉流過程可用以將混合氣體分離。若混合氣體裝在有許多小孔的容器內，則經一段時間後，將發現在容器內，混合氣體裏較重的分子多於較輕的分子，而容器外則正相反。此法在第二次世界大戰期間即被用以提鍊鈾 - 235。

【獵戶星座】（Orion）

從北極星引線經五車二向南，正指獵戶星座。居金牛星座之東南。故事相傳，咸以此星座擬於魁梧之獵者，右擧棒而左執獅皮，面對金牛作欲擊之勢（如圖 18 — 10）。

在獵戶左肩之 α 星，叫做參宿四（*Betelgeuse*），右足上之 β 星，叫做參宿七（*Rigel*），α 及 β 均爲一等星。α 在東北，其色紅，遠在 300 光年以外；β 位於西南，其色白，須經 540 光年才能到達我們的眼簾。在 α 及 β 間，三星橫跨，俗稱爲獵戶之腰帶。其南三星成行，若懸垂於腰帶之上，爲獵戶之劍。劍中一星極爲黯淡，由龐大霧氣所凝成。獵戶腰帶，我國古稱爲參宿。

在獵戶星座右上方有一顆一等星，叫做畢宿五（*Aldebaran*），這是金牛星座中金牛的一隻眼睛。在獵戶星座的左後方還有一顆星，叫做天狼

(*Sirius*)，屬於大犬星座（*Canis Major*）。天狼是衆星中最明亮的一顆。大犬星座之上，還有小犬星座（*Canis Minor*），這星座中最明亮的一顆星叫做南河山（*Procyon*）。



圖18—10　獵戶星座

【簧管】（Reed pipe）

以金屬小薄片附於管內，從管口強吹之，則送入之空氣可振動薄片而發樂音，此種裝置稱為簧管。簧樂器就是利用空氣衝擊薄片振動發音，如笙、喇叭、口琴、風琴等。音調的高低，隨薄片的長短和厚薄而定。口琴有許多簧片，長短厚薄不同，故可奏出不同的音調。

【簡正尖晶石】（Normal spinel）

尖晶石化學分子式可寫成AB_2O_4，A代表一個二價的原子，B代表一個三價的原子，每單位立方形中有8個四面體晶座與16個八面體晶座被佔據。晶格常數約爲8 Å。四面體晶座若由A原子佔據的稱爲簡正尖晶石，若由B原子佔據的則稱爲反尖晶石（*inverse spinel*），通稱尖晶石構造。立方形鐵淦氧磁物多有此結構。A座的自旋均爲平行，B座的自旋亦爲平行，但因交換交互作用之故，A座與B座的自旋反向平行。

【簡正坐標】（Normal coordinates）

振動系統的運動方程式，在特殊的坐標系統中能夠分離，這種坐標稱爲簡正坐標。N個自由度的保守（*conserval*）振動系統，其運動方

程式為N個聯立方程式

$$m_i \ddot{q}_i = \sum_{j=1}^{N} k_{ij} \ q_j$$

q_j 表示笛卡爾坐標。

在一組新的坐標，即簡正坐標Q_k 系統中，運動方程式簡化成分離的方程式

$$\ddot{Q}_k = -\omega_k{}^2 \ Q_k$$

式中ω_k 是簡正頻率。其變換方程式為

$$Q_k = \sum_i \alpha_{ik} \ q_i$$

式中α_{ik} 是變換矩陣α 的矩陣素。反變換即為

$$q_i = \sum_k \beta_{ik} \ Q_k$$

式中變換矩陣β 即是α 的反矩陣。

假如$Q_n = A_n sin \ \omega_n \ t$ ，而$j \neq n$時，$Q_j = 0$，這系統就是在它的第n個簡正坐標上運動。此時所有的q_i都以相同頻率ω_n 振動，而其相對振幅由β_{in} 定之，即

$$q_i = \beta_{in} \ A_n sin \ \omega_n t$$

通常，一系統中許多簡正坐標可以混合激發，因此對第i個笛卡爾坐標的形式是

$$q_i = \sum_j \beta_{ij} \ (A_j sin\omega_j t + B_j cos \ \omega_j t)$$

式中A_j 和B_j 由起始條件決定。

ω_j 和β_{ij} 可由原運動方程式

$$m_i \ddot{q}_i = \sum_j k_{ij} \ q_j$$

假設

$$q_j = A_n \ \beta_{jn} \ e^{j\omega_n t}$$

而求得。方程式即簡化成一組含N個未知數（β_{ij} ）的線性齊次方程式

。從其行列式方程式（即令聯立方程式之係數行列式爲零）的根得到可能的ω_n，將這些根代入方程式，則每一簡正坐標的相對振幅β_{ij} 即可求得。

簡正坐標和正規運動的概念可推廣到連續的系統，如兩端固定的絃，或周圍固定的膜。例如，絃的振幅是位置和時間的函數時，得

$$U = \Sigma A_n \sin(\omega_n t) \sin(n\pi x / L)$$

式中$\omega_n = n\pi v / L$，$\sin(n\pi x / L)$替代β_{ij}，A_n是第n個簡正坐標的振幅，ω_n是第n個簡正振動的頻率。

【簡併性】（Degeneracy）

簡併性說明一些毫不相關卻具有各種相同性質的物理量。古典動力學中，一振動頻率具有簡併性，則表示有某些不同的振動模式具有相同的振動頻率。在量子力學中，簡併性則表示能階的特性，如有許多組態具有相同的能量，則稱此能階具有簡併性。某能階或振動頻率所含有的組態或振動模式的數目爲２，３，…m，則稱其有２，３，…m度簡併度。

在任意系統中，可能有某些頻率或能階偶然相同，但除去這些偶然簡併性外，眞正的簡併性均起因於空間的對稱性，更具體的說是漢彌頓算符經坐標軸的轉動或反射後具有不變性。

具有簡併性的漢彌頓算符，受了某種外在的因素，其對稱性可能會降低，則簡併性會被去除。在量子力學中，由於受了適當的微擾後，簡併性被去除的例子很多，例如則曼效應（*Zeeman effect*）。

【簡併狀態】（Degenerate state）

因爲物系皆是由許多粒子構成的，每個粒子在每一時刻皆有一定的狀態，因此，物系在每一時刻皆有一定的微觀狀態（*microstate*），決定物系微觀狀態的因素就是這些粒子的狀態。但是，因爲常觀物系所包含的粒子數目非常多而且彼此間的作用力也非常複雜，所以，雖然

在每一時刻，物系必有一定的微觀狀態，但是這種狀態既量測不到，也計算不出來，因此，物系的微觀狀態本身並沒有多大的用處，有用處的是微觀狀態所表現出來的常觀物理量。例如在一箱子裏的氣體，它所包含的粒子（分子）數目約有 10^{24} 個之多，我們無法觀測到每個粒子在某一時刻的動量以及位置，因此也就無法知道此物系的微觀狀態，我們所能量測到的是這物系的壓力、體積等常觀物理量。

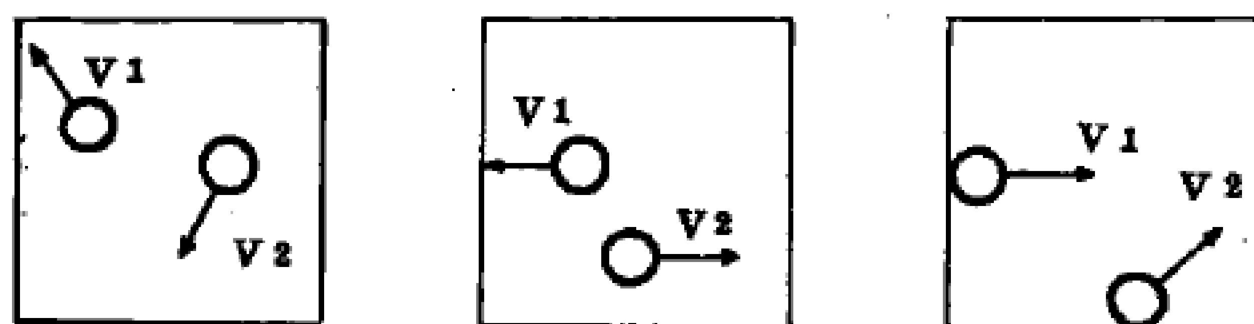


圖 18－11
能量爲 $\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$ 的簡併狀態，兩粒的質量皆爲m。

如圖 18－11 所示，若有一物系包含兩個質量相等的粒子，在三個圖中所表示的是此物系的三種微觀狀態，很顯然地，這三種微觀狀態是不相同的，但是三種微觀狀態所表現的常觀物理量：總能量

$$E=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

卻都相同，同樣地，我們可以找出很多不同的微觀狀態，而所表現的總能量皆爲

$$E=\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

由這個簡單例子，我們可以看出，若常觀物理量有一值，則它所對應的微觀狀態可能不只一種，這許多微觀狀態稱爲此常觀物理量的簡併狀態。

【簡單六方晶格】（Simple hexagonal lattice）

這種晶格的基晶格向量爲正三角形的二邊及垂直此面之第三向量，它的笛卡爾坐標分向量爲

$$(a,0,0),\ (\frac{1}{2}a,\frac{1}{2}\sqrt{3}a,0)\text{及}(0,0,c)$$

a與 c 之比並不受制於對稱性，而一般晶格點的位置爲

$$[\,(l_1+\frac{1}{2}l_2)a,\ \frac{1}{2}\sqrt{3}\ l_2a,\ l_3c\,]$$

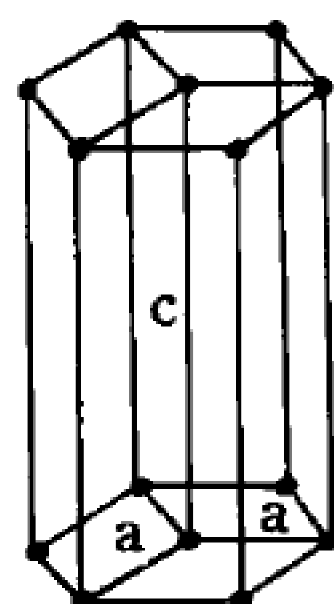


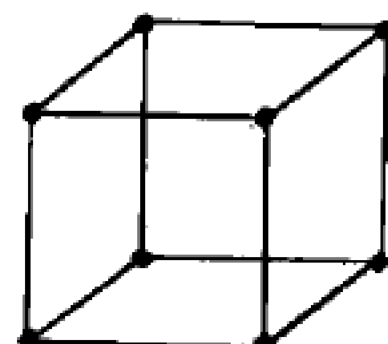
圖 18 — 12

或者可被寫爲（$\frac{1}{2}l_1a$, $\frac{1}{2}\sqrt{3}\ l_2a$, l_3c），不過任意整數（l_1, l_2, l_3）中，l_1 及 l_2 必須同時爲偶數（或奇數）。在這種六方的結構中，包含三個原子，如圖 18 — 12 所示。

【簡單立方晶格】（Simple cubic lattice ; S.C.)

這類晶格的晶胞（*unit cell*）只有一原子，而且基晶格向量彼此垂直，其笛卡爾坐標之分量爲

$$(a, 0, 0), (0, a, 0) 及 (0, 0, a)$$


圖 18 — 13

因此晶格點的位置（亦即晶格向量的分量）可被表示爲（l_1a, l_2a, l_3a），（l_1, l_2, l_3）爲任何整數。如圖 18 — 13 所示。

【簡單金屬】（Simple metal）

金屬大致可以分爲簡單金屬與過渡金屬二大類。凡金屬其原子中的 *d* 層電子殼全部被塡滿，或者全部空著者稱爲簡單金屬。如有未塡滿的 *d* 層電子殼者，則稱爲過渡金屬。

【簡單機械】（Simple machine）

機械的功用是增加或減小力的量，及變換力的方向。凡是能夠改變力之一切設備，或者可以直接稱之爲簡單機械，或者都是溯源於簡單機械。

簡單機械分爲槓桿類和斜面類。槓桿類除槓桿（*lever*）本身外，尙有滑輪（*pulley*）和齒輪（*wheel*）、輪軸（*axle*）等。斜面類則除斜面（*inclined plane*）本身外，尙有螺旋（*screw*）和劈（*wedge*）等。

設加於機械的力爲 F_i，機械發出的力 F_0，F_0 / F_i 比率稱爲機械

利益M，即$M=F_0/F_i$。若$M>1$，機械就增加作用的力；若$M<1$，機械就減低作用的力。

【簡單壓力計】（Simple manometer）

即液體壓力計。普通的構造，由U型玻璃管內盛水銀或其他液體而成。如圖 18－14(*a*)所示，管之兩端均開放者，稱爲開管壓力計（*open manometer*）。玻璃管內裝已知密度之液體，其一端開放，接於大氣。他端接於欲測之容器。若管中之液體柱在開口側較他側高 h cm，即高差 h 代表所測之壓力與大氣壓力之差數。所以若由氣壓計測知該時之大氣壓力，則由計算可得欲測壓力。設大氣壓力爲p_0 $cmHg$，液體之密度爲ρ，則所求之氣壓爲

$$p=\left(p_0+\frac{\rho}{13.6}h\right)cmHg$$

如管的一端封閉，中盛空氣者，稱爲閉管壓力計（*closed manometer*），如圖18－14(*b*)所示。使用時將一端和欲測容器連接。則因閉管內空氣的壓力，和其體積或長度成反比。故由空氣柱的長度，依波義耳定律，可推出壓力。再加兩管內液面相差液柱的壓力，即得氣體的壓力。若最初封閉側內氣體之壓力爲 1 大氣壓，其體積爲V_0。當測定時，由水銀面之漲落，其體積變爲V。且封閉側之液面較他側高 h cm，則所求之壓力，以厘米水銀柱表示時

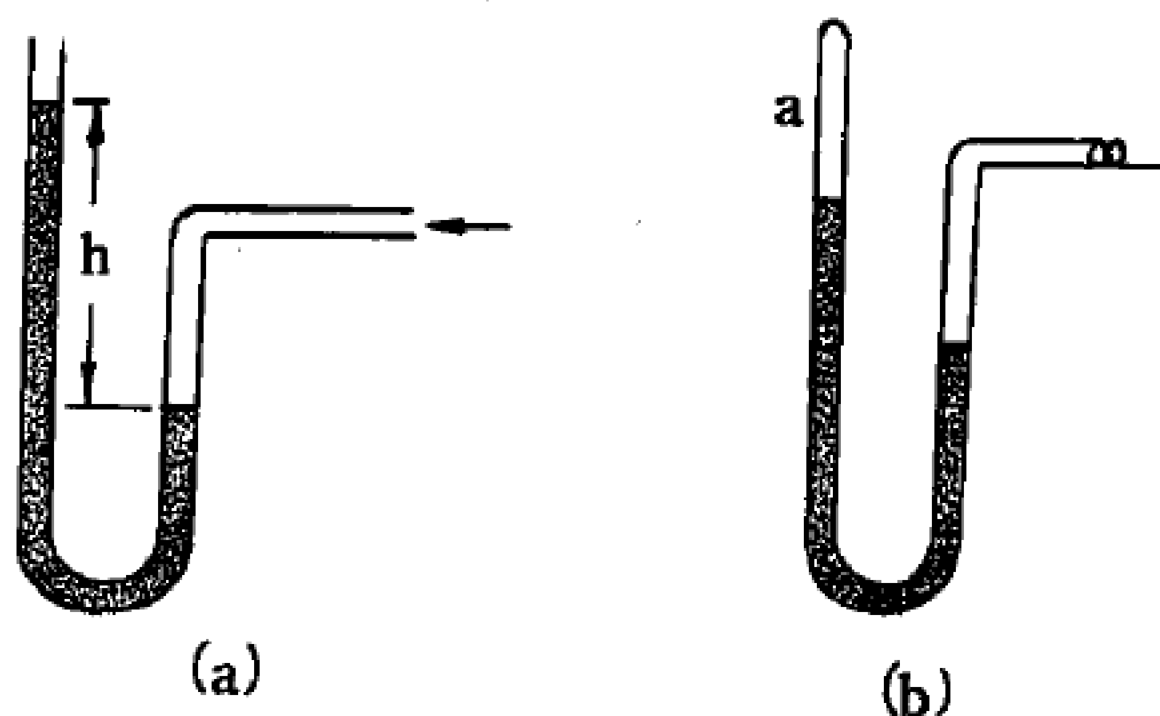


圖 18－14

$$p=760\times\frac{V_0}{V}+\frac{\rho}{13.6}h$$

但若溫度由T_0變至T時

$$p = 760 \times \frac{V_0 T}{V T_0} + \frac{\rho_T}{\rho_{Hg \cdot T}} h$$

此種壓力計，可用以測定壓力較高的氣體。若閉管 a 中抽成眞空，則可用以測定壓力較低的氣體。而其高差 h 即爲所測之壓力。

一般壓力計內所裝之液體爲水銀。但水、濃硫酸、溴萘（*bromo-naphthalen*）、橄欖油、四氯化碳等亦常被使用。

【簡諧波】（Simple harmonic wave）

在綳緊之繩端作一次側向運動，可產生一脈波或單波沿繩而下。每一質點原係靜止，當脈波抵達時，質點在一短時間內運動，之後又回復靜止。若連續前後擺動繩端，則產生一沿繩行進之波列。若是週期性動作，則產生週期波列，而繩上每質點均作週期運動，此即爲簡諧波，每一質點均作簡諧運動。

【簡諧運動】（Simple harmonic motion；S.H.M.）

當一個質點相對於坐標系原點之位移 x 的時間函數爲

$$x = A \sin(\omega t + \alpha) \qquad (1)$$

時，我們便說此質點之運動爲簡諧運動。（$\omega t + \alpha$）一量稱之爲相（*phase*），α 稱爲初相，即 $t = 0$ 時之相。雖然我們用正弦函數來定義簡諧運動，可是簡諧運動也同樣能用餘弦函數來表示，其間唯一之差別只是其初相相差爲 $\frac{\pi}{2}$。因爲正弦（或餘弦）函數之值在 -1 與 $+1$ 之間變化，故質點之位移在 $x = -A$ 與 $x = +A$ 之間變化；從原點之最大位移 A 稱簡諧運動之振幅。因爲正弦函數每重複一次，角度 ωt 便增加 2π；因此，質點之位每經時距 $2\pi / \omega$ 之後便重複一次；故簡諧運動爲週期運動，而其週期爲 $P = \frac{2\pi}{\omega}$

簡諧運動之頻率 ν 等於每單位時間內完全振盪之次數，故

$$\nu = \frac{1}{P}$$

角量 ω 稱爲振動質點之角頻（*angular frequency*），其與頻率之關係爲

$$\omega = \frac{2\pi}{P} = 2\pi\nu \quad (2)$$

質點之速度爲

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$= \omega A\cos(\omega t + \alpha) \quad (3)$$

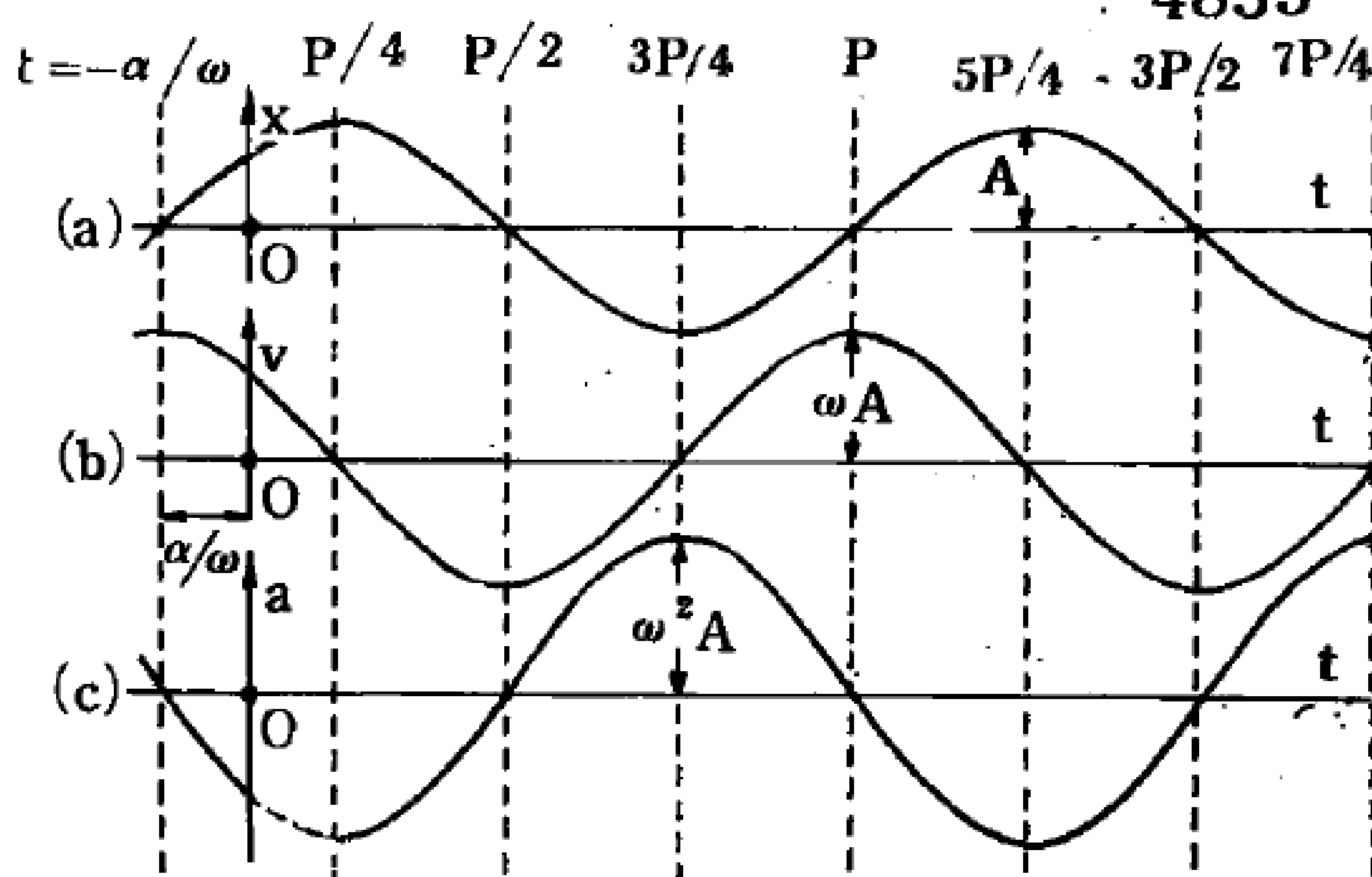


圖 18—15
在簡諧運動中位移，速度及加速度與時間之函數關係

其加速度爲

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A\sin(\omega t + \alpha) = -\omega^2 x \quad (4)$$

此一結果指出，在簡諧運動中，加速度之大小與位移之大小成正比，而其方向與位移之方向相反。

在圖 18—15中，我們說明了 x、v 及 a 都是時間的函數。

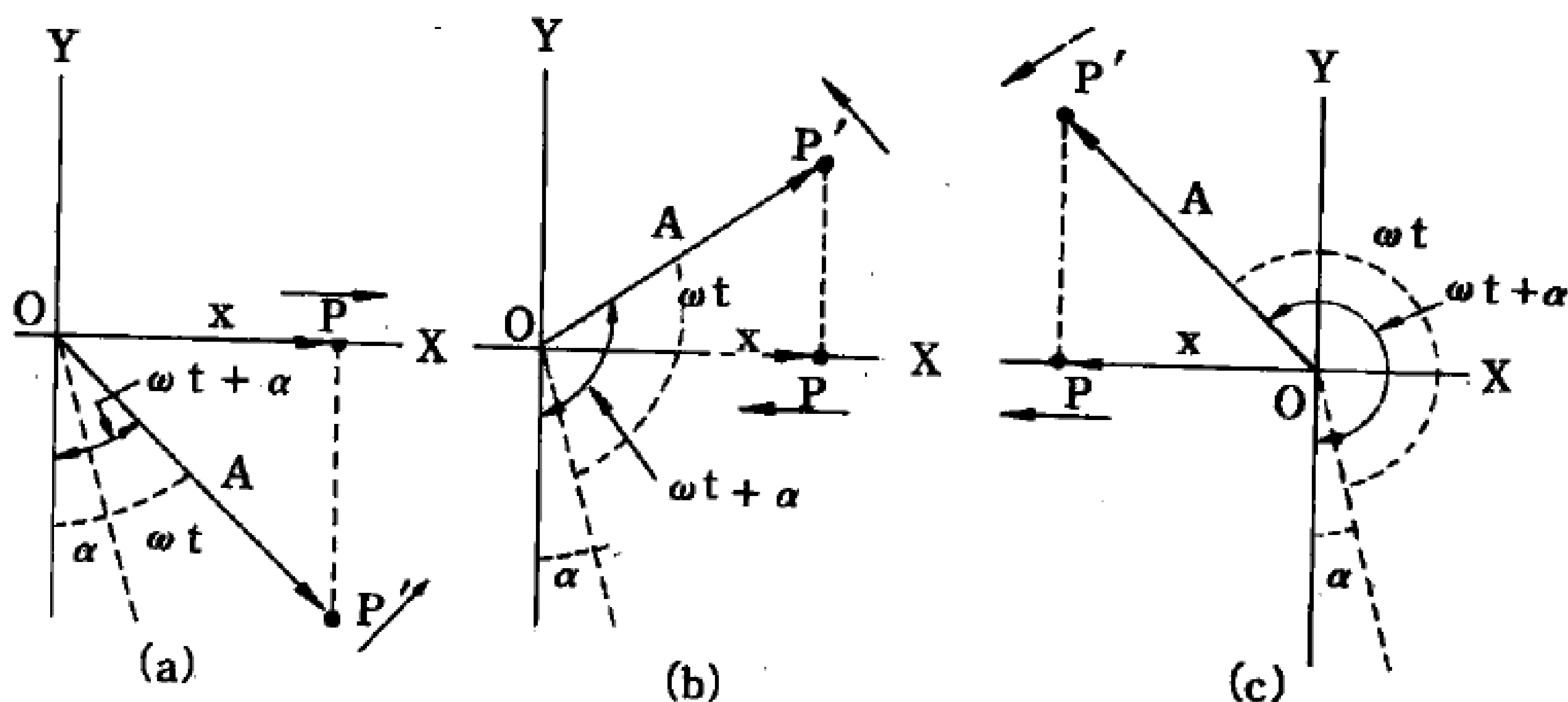


圖 18—16　在簡諧運動中位移之轉動向量

作簡諧運動的質點之位移，也可以認爲是向量 $\overrightarrow{OP'}$ （$OP' = A$）

之X分量，而$\overrightarrow{OP}'$以ω之角速度繞O點作反時針方向之旋轉，其（在每一時刻）與Y軸負方向之夾角爲$\omega t+\alpha$。在圖 18—16 中繪出了幾個不同方位的$\overrightarrow{OP}'$；在任意時刻$\overrightarrow{OP}'$的X分量爲

$$x=OP=OP'\ sin\ (\omega t+\alpha)$$

作簡諧運動質點，其速度與加速度也可各別用長度各爲ωA及$\omega^2 A$之轉動向量$\overrightarrow{OV}'$及$\overrightarrow{OA}'$表示之，其在X方向之分量分別表示質點之速度v及加速度a；這些轉動向量之相對方位說明於圖 18—17 中，從圖中可以看出，$\overrightarrow{OV}'$超前$\overrightarrow{OP}'\pi/2$，$\overrightarrow{OA}'$超前$\overrightarrow{OP}'\pi$，其超前之原因是由於（3）式與（4）式可以分別寫成

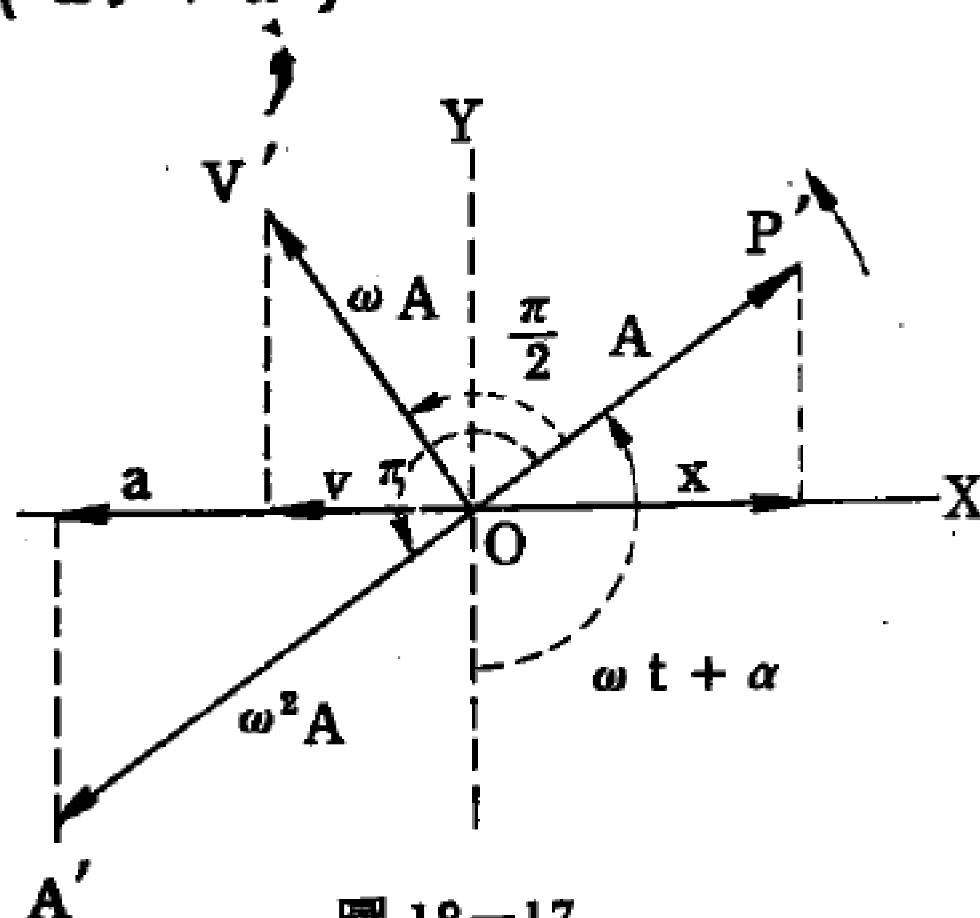


圖 18—17
在簡諧運動中，位移速度與加速度之轉動向量

$$v=\omega A sin\ (\omega t+\alpha+\frac{\pi}{2})$$

$$a=\omega^2 A\ sin\omega\ (t+\alpha+\pi)$$

這表示　和a與x之相差各爲$\frac{\pi}{2}$及π。

簡諧運動與等速率圓周運動有很密切的關係，茲以等角速度在半徑

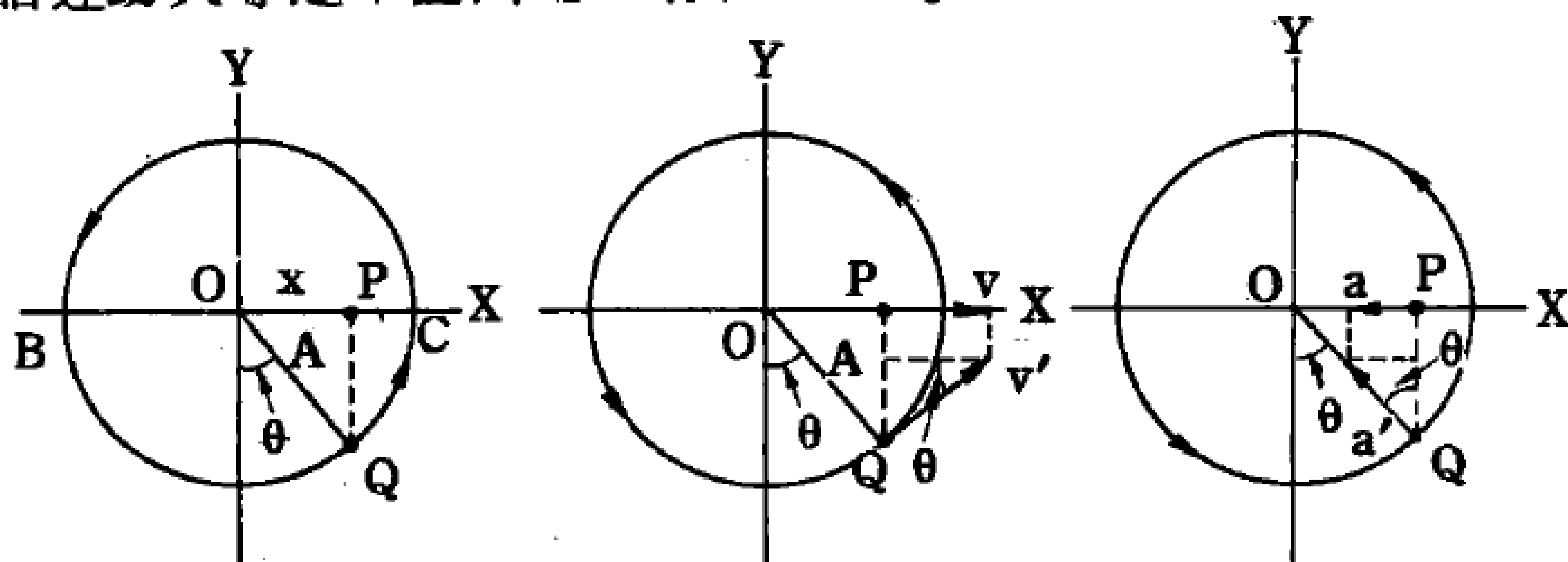


圖 18—18　簡諧運動與等速率圓周運動之關係

爲A之圓周上運動的質點Q（如圖18—18），其在直徑BC上之射影爲P；很明顯的從圖中可以看出，當Q繞圓周運動時，其射影P在B、C兩點之間作往返運動，即在B、C之間振盪。若半徑OQ與$-Y$軸之夾角爲$\theta = \omega t$，則

$$OP = OQ \sin\theta$$

或
$$x = A \sin\omega t$$

這表示P在作簡諧運動（其初相爲零）；即當一質點在圓周上作等速率運動時，其在直徑上之射影作簡諧運動。此一運動學上之關係對某些機械設計非常有用。

Q之速度方向垂直於OQ，其大小爲$v' = \omega A$，而v'沿X軸之分量爲

$$v = v' \cos\theta \text{ 或 } v = \omega A \cos\omega t$$

這也就是P之速度。Q之加速度是指向圓心的，其大小爲$a' = \omega^2 A$，而a'沿X軸之分量爲

$$a = -a' \sin\theta$$

或
$$a = -\omega^2 A \sin\omega t$$

這也就是P之加速度。所以射影P之速度和加速度分別等於Q之速度和加速度沿X軸之分量。所獲得之結果，即使最初相角不等於零時還是成立的。

應用運動公式$F = ma$代入（4）式之加速度公式

$$a = -\omega^2 x$$

我們能夠計算使質量爲m之質點作簡諧運動所必須作用之力爲

$$F = -m\omega^2 x = -kx$$

式中$k = m\omega^2$，即

$$\omega = \sqrt{k/m} \qquad (5)$$

此一結果指出，在簡諧運動中，作用力之大小與位移之大小成正比，而

其方向與位移之方向相反。亦即當位移向右時，力之方向向左；而當位移向左時，力之方向向右；由是作用力之方向恆指向原點O。O點卽爲平衡位置，因爲在O點時$x=0$，$F=-kx=0$。也可以說作用力爲吸引力，而其作用中心爲O點。常數$k=m\omega^2$（有時稱爲彈力常數）表示使質點產生1單位之位移所需之力。連結（2）式與（5）式，我們能夠寫出兩個公式

$$P=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad v=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

這是以質點之質量與作用力之彈力常數，來表示簡諧運動之週期與頻率之公式。質點之動能爲

$$E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2(\omega t+\alpha)$$

或者因爲

$$\cos^2\theta=1-\sin^2\theta$$

故應用（1）式之位移公式

$$x=A\sin(\omega t+\alpha)$$

我們也能將動能表示爲

$$E_k=\frac{1}{2}m\omega^2A^2\left[1-\sin^2(\omega t+\alpha)\right]$$

或

$$E_k=\frac{1}{2}m\omega^2(A^2-x^2) \qquad (6)$$

由此我們可以看出在中心（$x=0$）時之動能最大，在兩端點（$x=\pm A$）時之動能爲零。

要求得簡諧運動之位能時，必須利用

$$F=-dE_p/dx$$

再應用（5）式力之公式，我們可以寫成

$$dE_p / dx = kx$$

由積分（選擇平衡位置作爲位能之O位）我們得到

$$\int_0^{E_p} dE_p = \int_0^x kxdx$$

或

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 \qquad (7)$$

因此，在中心（$x = 0$）時之位能最小（0），在兩端點時（$x = \pm A$）之位能最大。將（6）式與（7）式相加，求得簡諧運動之總能量爲

$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

此值爲一常數；這是我們所預期的結果，因爲作用力爲守恆力。因此我們可以說，在振盪過程中，動能與位能互作連續的變換；當質點遠離平衡位置，運動時系統之位能增加而動能減少；反之，當質點朝向平衡位置運動時，系統之位能減少而動能增加。

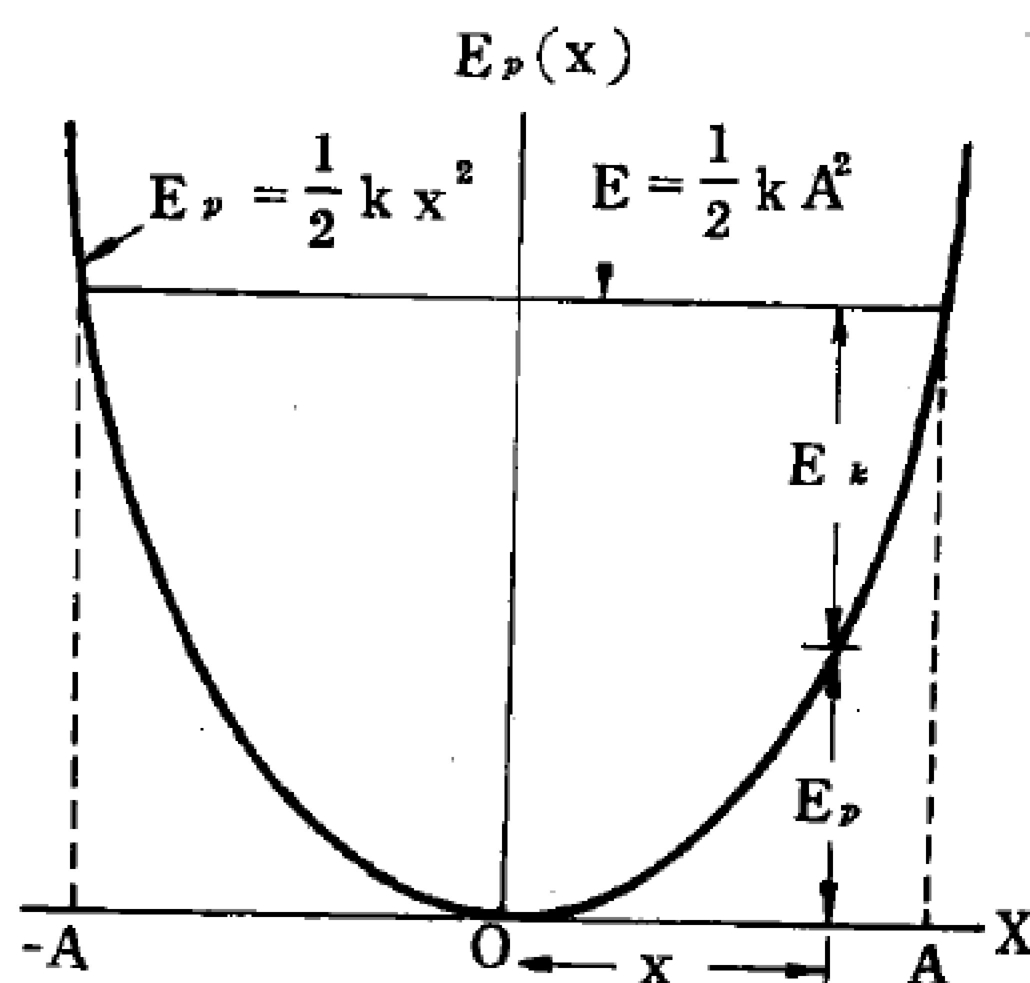


圖 18—19

簡諧運動中之能量關係

圖 18—19 指出，位能

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

可以由一拋物線來表示；對一已知之總能量E，由圖中之水平直線表示，振盪之極限決定於此直線與位能曲線之交點；由於拋物線 E_p 之對稱性，振盪限制於O點兩邊$\pm A$之範圍；在任意位置x，動能E_k 由曲線$E_p(x)$與直線E之距離來表示。

從運動公式$F = ma$，應用$F = -kx$，並記著在直線運動中，a

$= d^2x / dt^2$，可以得到

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad \text{或} \quad m\frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

以 $\omega^2 = k / m$ 代入之，則

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \qquad (8)$$

此式即爲簡諧運動之基本公式。

（８）式之解答已知其爲 ωt 之正弦函數或餘弦函數，以 $x = A\sin(\omega t + \alpha)$ 代入之，立刻可以證明相應於簡諧運動對 x 的這種表示能夠滿足（８）式；因此

$$x = A\sin(\omega t + \alpha)$$

爲（８）式之通解，因爲它有兩個未定常數，振幅 A 及初相 α。所以我們說（８）式爲簡諧運動之基本公式。

在這一點，我們要注意的是（８）式在物理上會出現於很多不同情況之中；只要它出現了，便表示所對應之現象是根據

$$x = A\sin(\omega t + \alpha)$$

之法則的振盪現象；其中 x 可能是表示一個質點的位移（線位移或角位移），或一個電路中之電流，或一種電漿中之離子密度，或一個物體之溫度，或很多其他物理現象中的任何一種性質。

【繞射】（Diffraction）

繞射是波動的一種特別現象，意指行進的波列，通過障礙物缺口時，偏離其直線行程，波列能到達直線行進時所不能到達的區域。例如與海岸平行行進的波濤，可看到在海港港口處繞射，進入港中又沿內岸行進。音樂廳中舞臺發出的聲波，傳至廻廊支柱處繞射，使在柱後仍可聽到聲音。無線電波上由於有繞射現象，無線電波才能夠繞過自己前進道路上的障礙物，故無線電信號能夠發射到直視距離以外。波長越長，繞射現象越顯著。

所有電磁波（包括光波、X射線等）、聲波、水波及物質波都有繞射現象。

繞射效應的主要特質，可以借助於惠更斯原理來說明，根據此原理，在波前上之每一點，可以視爲次級元波之波源，此元波也是向四方傳播展開的。於是恰恰抵達障礙物缺口的波前所產生的次級元波，其方向便可能偏離原來的方向，而產生繞射現象。

一般觀察繞射現象時，都是使波動通過一個有狹縫或小孔的屏障，由此產生的繞射效應，便可在屏障後面的幕上顯示出來。

【繞射光柵】（Diffraction grating）

一系列精細且排列緊密的平行狹縫，或一系列狹窄的平行反射面，當光自某方向射於其上，會產生光譜，謂之繞射光柵。整個光學理論太複雜，現在以平面透射光柵爲例，僅作簡略的解說。

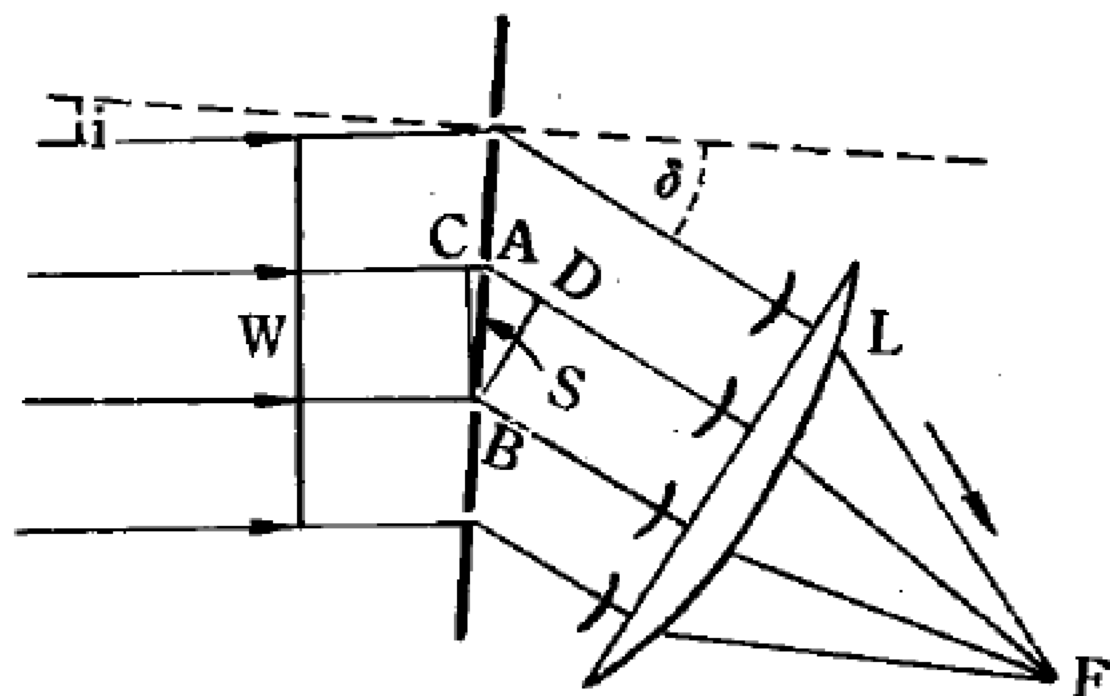


圖 18—20　平面光柵的繞射

一平面單色光波W以入射角i（如圖 18—20）射向光柵，光波至各狹縫的時間均不同。自相鄰兩狹縫，如A、B到透鏡L的光波行程相差爲$CA+AD$，即$S\sin i+S\sin\delta$，$S=AB$。若透鏡L的位置使此光程差爲光波的整數倍$n\lambda$，則到達透鏡的光波將同相位，因此當它們聚焦於F時，將產生遠處光源的明亮實像。所以在F點要產生亮點，角δ必須符合下面的條件

$$S\sin i+S\sin\delta=n\lambda$$

即

$$\sin\delta=\frac{n\lambda}{S}-\sin i$$

式中$n=1,2,3,4,\cdots$，這些數稱爲像的序數。我們也可以證明當$\delta=i$或

$$\sin\delta=\frac{n\lambda}{2S}$$

時，總偏向角（ $i+\delta$ ）最小。

如果入射光含有多種波長，則任何序數的對應實像均位於不同點，又因 δ 隨 λ 變，所以最後形成光譜。簡言之，光柵就像一只色散片，它是分光鏡和攝譜儀的重要元件。

透射式繞射光柵之製作，可在一片玻璃上，刻下無數的平行細痕。若使一平面光波垂直射入，則未經刻劃處之中間條紋，跟狹縫一樣，能讓光線穿透過去，至於刻劃處之線條，則將光反射而使之散開，其效果就跟狹縫之隔牆能將光擋住一樣。因此除了入射光的直射方向外，在其他某些角度上也會有相當強的光出現。此種能發生繞射現象的刻痕玻璃即稱爲繞射光柵。

光柵之效率（即其亮度）係隨狹縫的數目（亦即其彼此間之密接程度）而增大。通常其密度恆在每毫米 1,000 條狹縫以上。

至於反射式繞射光柵的製作，可在平滑的金屬片上刻劃平行細紋，如此即可就其反射光來觀察干涉效應。

【繞射光環】（Diffraction ring）

或稱繞射環或繞射圈。在遠鏡中恆星小圓點狀之像，其四周環著一或多個同心環，故名。此現象在小遠鏡甚於大遠鏡。

【繞射光譜】（Diffraction spectrum）

以多色光通過光柵，則因其中所含各單色光波長不同，其繞射角也不同，將會產生繞射光譜。

在繞射光譜中，由於紅光的波長較大，故繞射最強。又在繞射光譜中，各單射光條紋是以同樣寬度在幕上出現，故又稱爲勻排光譜。

【繞射花樣】（Diffraction pattern）

繞射花樣即繞射圖樣，是當光波由等距離的格子反射或折射時所形

成的。如圖 18 — 21所示爲鈦酸鋇鹽（*barium titanate*）晶體的*X*射線繞射花樣圖，圖中可見規則排列的點。中間的白色空洞是由於儀器上裝置底片所造成的。

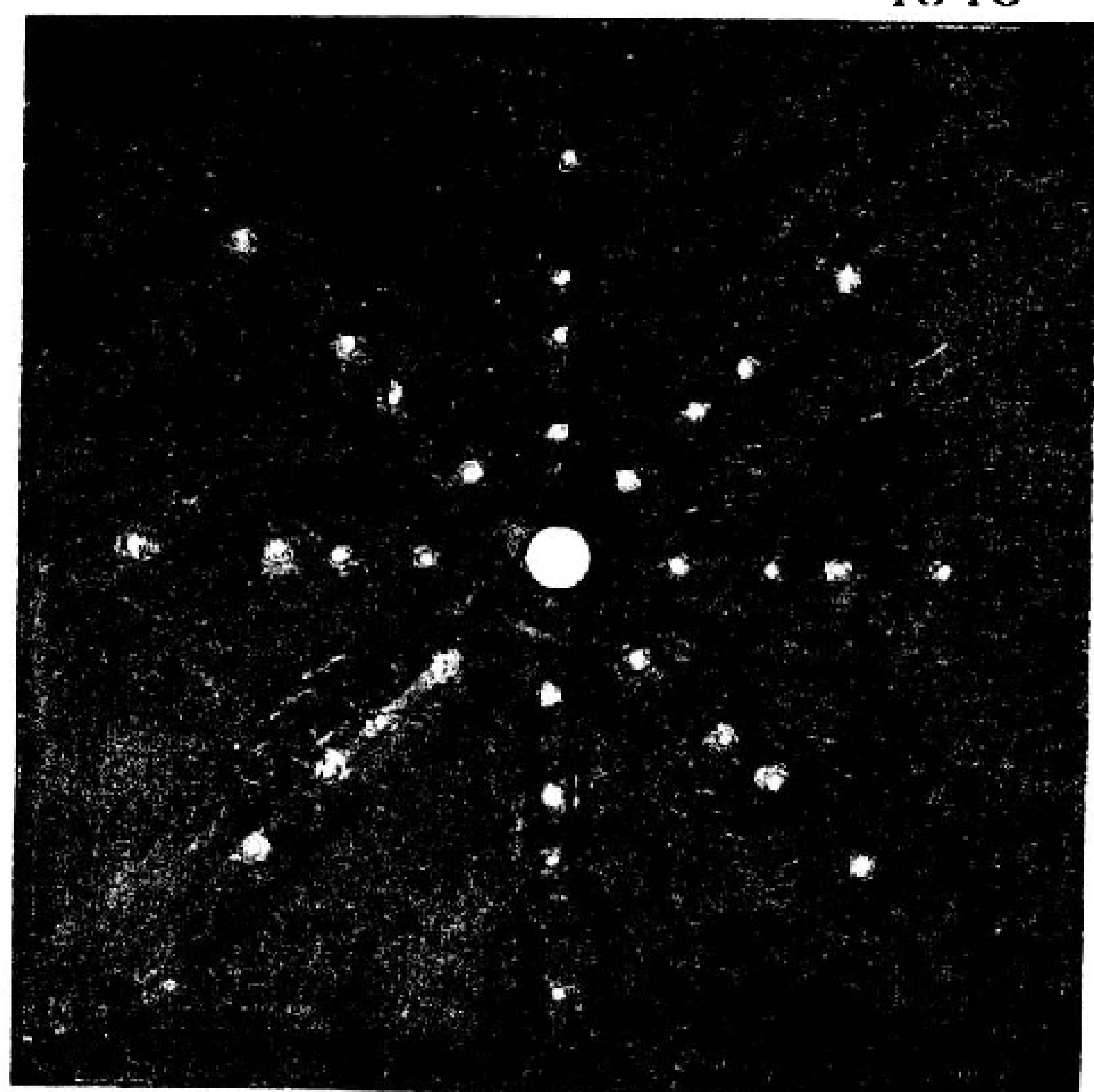


圖 18 — 21　鈦酸鋇鹽晶體的X射線繞射花樣

【繞線機】（Winder）

繞製多層線圈之工具，謂之繞線機。分電動與手搖兩種。

【舊量子理論】（Old quantum theory）

在十九世紀末及二十世紀初，發現很多物理現象不能以古典物理的觀點得到合理的解釋，爲了解釋這些現象，於是在古典物理中加上若干假設，而形成舊式的量子理論。

浦朗克首先在 1900 年對黑體輻射現象提出量子的形式，1905 年愛因斯坦提出光子的不連續現象。

自 1911 年拉塞福以 α 粒子散射實驗證實原子構造，發現電子圍繞帶正電的原子核運轉。但依古典物理，此電子會因輻射能量而被原子核吸收，但事實上電子的軌道仍然穩定。爲了解釋此穩定狀態，波爾在 1913 年提出舊式的量子理論，其包含兩個假設：

1. 電子在圓形軌道中並不輻射能量，其能量保持一定，當電子自一狀態（能階）躍遷至另一能階時，會吸收或放出能量，此能量爲此二能階之差。

2. 量子的輻射頻率，等於此能量除以 h（浦朗克常數），即

$$\nu = \frac{E}{h}$$

此時電子在軌道上的角動量，爲 $h/2\pi$ 的整數倍，這理論能解釋當時很完整的光譜分析數據。

至 1916 年威爾遜（*Wilson*）和左末菲（*Sommerfeld*）修改波爾的假設，將圓形軌道推廣爲橢圓軌道，並提出其量子化的條件，即

$$\oint p_q \, dq = n_q h$$

式中積分爲沿一週期橢圓軌道，q 爲坐標，p_q 爲共軛動量，n_q 爲量子數（整數）。這假設比波爾的假設爲佳，可是仍然未臻完善。

雖然舊量子理論在解釋光譜的頻率相當成功，但對光譜的強度、躍遷機率卻無法考究。對於某些雙原子的光譜，得到令人困惑甚至錯誤的結果。由於舊量子理論仍是以古典物理爲基礎，再加上一些假設而成，故不能算是完整的理論，只是一種半古典的方法。不過倒可謂爲量子力學發現的前奏。

【藍光】（Blue grow）

汞氣離化時的現象。

【藍伯】（Willis Eugene Lamb Jr. 1913- ）

今一般多譯爲拉目（本書其他部分皆譯拉目）。1913 年七月十二日生於美國洛杉磯。1934 年得加州大學學士學位，四年後再獲得博士學位。1938至 1951 年在哥倫比亞大學，1952 至 1956 年在史丹福大學，1956至 1962 年在牛津大學任教，1962 年起在耶魯大學任亨利福特二世講座教授。藍伯研究原子及原子核的構造、微波、氫和氦光譜的精細結構。1947 年由實驗發現拉目移動（*Lamb shift*），即氫原子的光譜中有兩條線，依照當時的理論應疊合（指兩個能階有相同的能量，但實際上有少許的差別）。1955年獲諾貝爾物理學獎，現爲美國科學院院士。

【豐盛度】（Abundance）

在天然出產的元素中，某種質量數的原子（即同位素）的相對數目

似應不變，此數目即是該同位素的豐盛度，常以此元素之原子總數的百分比表示。例如天然氮氣含有 ^{14}N和 ^{15}N 兩種同位素，但 270 個 ^{14}N原子才有一個 ^{15}N原子，故 ^{14}N的豐盛度爲 99 .63％ ，^{15}N爲0.37％。若以某種同位素的原子數爲標準表示時，則稱爲相對豐盛度（ *relative abundance* ）或豐盛比（ *abundance ratio* ），例如以最豐盛的同位素的原子數爲 100，或最不豐盛者的原子數爲 1 表示之。^{14}N與 ^{15}N的豐盛比即爲 270 ： 1 。

天然產的元素中同位素豐盛度是否不變，曾經予以多次探究。在不少輕元素中，例如*Li*、*B*、*C* ，曾發現豐盛度變化高達 5％，乃因爲地球表面出現的化學或物理成分各處不同所致。在重元素中，鉛（ *Pb* ）的豐盛度變化很大，由於鈾和釷的放射性衰變生成鉛，使原始的鉛受到污染之故。幾乎所有同位素的豐盛度，都已用質譜儀以及其他特別方法予以測定。

【轉向極化】（ Orientational polarization ）

轉向極化，係源自有極分子自身所具的永久偶極矩（ *permanent dipole moment*）。茲設有一系相同的有極分子均處在氣體狀態，彼此間的相互作用甚小而可忽視，在未給此系加以外電場時，由於組成此系各分子的永久偶極矩凌亂地排列，此系則不呈偶極矩。然當它受一外電場作用時，各永久偶極子因轉矩作用，即轉向電場，如圖 18 — 22 所示，然因分子熱運動的影響，彼等轉至某角度 θ 後即告停止，此時各永久偶極子在電場方向均有一成分，其在與電場垂直方向的成分則互相抵銷，因而此系即呈極化於電場方向。如此極化通稱爲轉向極化。

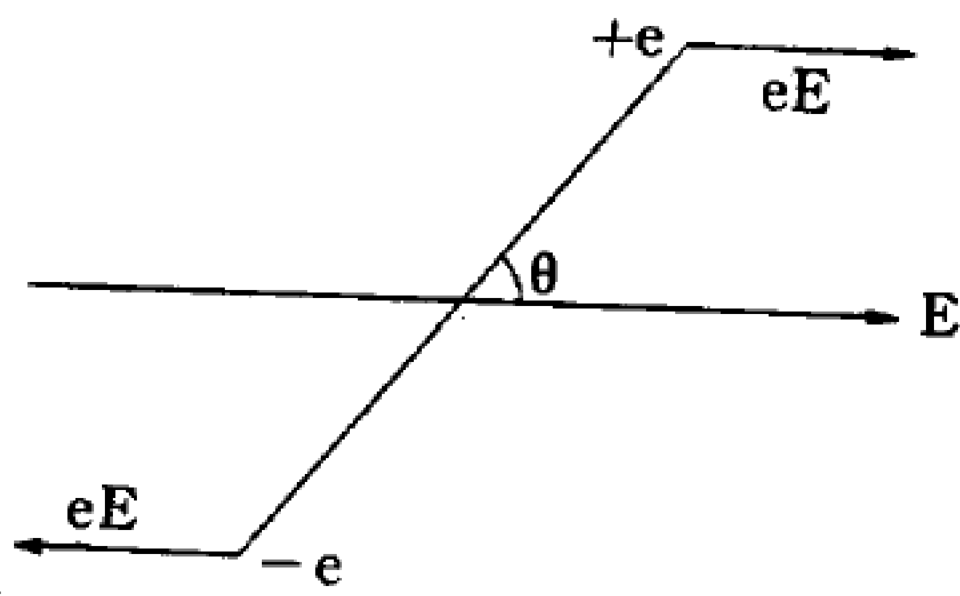


圖 18 — 22

就一般而言，永久偶極子與電場所成的角度 θ 因分子而異（因分子

的熱運動），故永久偶極子在電場方向的成分常爲不同值，有的較大而有的甚小。就同一分子言，其值常隨時間而變。

【轉換】（Conversion）

參閱“轉換反應器（*Converter reactor*）”條。

【轉換比】（Conversion ratio）

在轉換反應器中，新產生之可裂材料的原子數目與所消耗的可裂燃料的原子數目之比，稱爲轉換比。

【轉換反應器】（Converter reactor）

一種能生產可裂材料的反應器，而且所生產的要比它所消耗的爲少。有時也指生產出與所消耗的燃料不相同之可裂材料的反應器，而不管它的比率如何，上述兩種說法的過程都叫做轉換。

【轉矩】（Torque）

使物體發生轉動或有此傾向的動因，此量由力之作用而產生，爲力與力臂之積，又名力矩（*moment of force*）。即

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{F}$$

式中$\vec{L}$爲轉矩，$\vec{r}$爲對原點的位置向量，$\vec{F}$是合力。轉矩爲向量，其大小爲$L = rF\sin\theta$，θ爲$\vec{r}$與$\vec{F}$間的夾角。

【轉動】（Rotation）

剛體內各點均作同心圓運動者，稱爲轉動。通過共同圓心而與圓面垂直之軸，稱爲轉軸。若由物體內任一點作垂線至軸，則在任何時間區間內，每一垂線均掃過相同的角度，故轉動又可稱爲角運動（*angular motion*），它的運動情形可以剛體上任一點（除轉動軸上之質點）予以描述。

【轉動光譜】（Rotation spectrum）

分子吸收或放射電磁波時，其轉動狀態會改變，但改變過程受選擇定則限制。例如僅當分子有永久雙極矩時方有純轉動吸收光譜，此時直

線形分子的選擇定則為

$$\triangle J = \pm 1$$

而對稱陀螺形之分子為

$$\triangle J = 0,\ \pm 1,\ \triangle K = 0$$

在拉曼散射光譜中，直線分子的選擇定則為

$$\triangle J = 0,\ \pm 2$$

在對稱陀螺分子中

$$\triangle J = 0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ \triangle K = 0$$

球形分子中的選擇定則為$\triangle J = 0$，故球形分子無純轉動之紅外線光譜，亦無純轉動拉曼譜（*Raman spectrum*）。

轉動光譜通常可附帶於振動及電子光譜中，因$\triangle J$值之不同而構成許多支（*branches*）譜，$\triangle J = -2, -1, 0, +1$及$+2$者分別稱為$O$，$P$，$Q$，$R$及$S$支譜。

【轉動坐標系】（Rotating coordinate system）

假設有一轉動坐標系S'以等角速度ω沿Z軸對一慣性坐標系S轉動，並且此二坐標的原點O'及O永遠相重合。圖18—23是在時間t時S'坐標對S坐標的位置。在$t = 0$時X'軸與X軸相重疊。Z軸及Z'軸垂直於XY坐標面而指向讀者。在這一瞬間，P點對S'參考系之坐標為(x', y', z')，而對S參考系之坐標為(x, y, z)。由圖18—23可知坐標的變換關係為

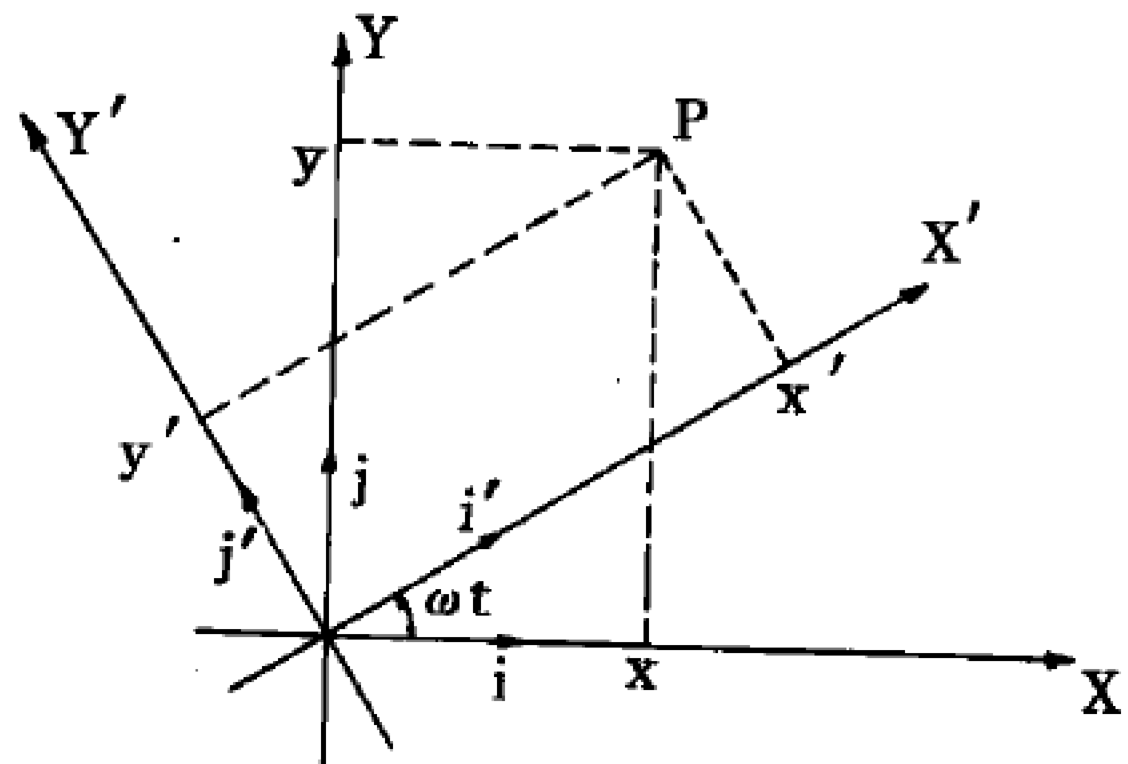


圖18—23　轉動坐標與慣性坐標之關係

$$x = x' \cos \omega t - y' \sin \omega t$$

$$y = x' \sin \omega t + y' \cos \omega t$$

$$z = z'$$

當P點在空間內移動時，它對S'坐標及S坐標的速度間的關係可微分上式而得知。因此有下述的速度分量間的關係

$$\dot{x} = \dot{x}' \cos\omega t - \dot{y}' \sin\omega t - \omega x' \sin\omega t - \omega y' \cos\omega t$$

$$\dot{y} = \dot{x}' \sin\omega t + \dot{y}' \cos\omega t + \omega x' \cos\omega t - \omega y' \sin\omega t$$

$$\dot{z} = \dot{z}'$$

$\dot{x}$，$\dot{x}'$ 等為x，x' 等對時間的第一次微分。將上式對時間再微分一次，可得P點對兩坐標系的加速度分量間的關係，即

$$\left.\begin{aligned} \ddot{x} &= \ddot{x}' \cos\omega t - \ddot{y}' \sin\omega t - 2\omega\dot{x}' \sin\omega t \\ &\quad - 2\omega\dot{y}' \cos\omega t - \omega^2 x' \cos\omega t \\ &\quad + \omega^2 y' \sin\omega t \\ \ddot{y} &= \ddot{x}' \sin\omega t + \ddot{y}' \cos\omega t + 2\omega\dot{x}' \cos\omega t \\ &\quad - 2\omega\dot{y}' \sin\omega t - \omega^2 x' \sin\omega t \\ &\quad - \omega^2 y' \cos\omega t \\ \ddot{z} &= \ddot{z}' \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$\ddot{x}$，$\ddot{x}'$ 等為x，x' 等對時間的第二次微分。如果$\vec{i}'$,$\vec{j}'$及$\vec{k}'$ 分別為沿X'，Y'及Z'軸的單位向量，而$\vec{i}$，$\vec{j}$及$\vec{k}$分別為沿X，Y及Z軸的單位向量，則$\vec{i}'$，$\vec{j}'$及$\vec{k}'$ 可分別用沿X，Y及Z軸的分量表示，其結果為

$$\vec{i}' = \vec{i} \cos\omega t + \vec{j} \sin\omega t$$

$$\vec{j}' = -\vec{i} \sin\omega t + \vec{j} \cos\omega t$$

$$\vec{k}' = \vec{k}$$

現在P點對S坐標之加速度向量可被寫成

$$\vec{a} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{j} + \ddot{z}\vec{k}$$

而P點對S'坐標之加速度、速度及位置向量可被分別寫成為

$$\vec{a}' = \ddot{x}'\vec{i}' + \ddot{y}'\vec{j}' + \ddot{z}'\vec{k}'$$

$$\vec{v}' = \dot{x}'\vec{i}' + \dot{y}'\vec{j}' + \dot{z}'\vec{k}'$$
$$\vec{r}' = x'\vec{i}' + y'\vec{j}' + z'\vec{k}'$$

上式中 a'，v' 及 r' 爲觀察者坐在 S' 坐標上並隨其轉動時所量到的 P 點的加速度，速度及位置。因此，（1）式的加速度分量關係式可用下面的向量式表示

$$\vec{a} = \ddot{x}\vec{i} + \ddot{y}\vec{i} + \ddot{z}\vec{k}$$
$$= \ddot{x}'(\vec{i}\cos\omega t + \vec{j}\sin\omega t) + \ddot{y}'(-\vec{i}\sin\omega t + \vec{j}\cos\omega t)$$
$$+ \ddot{z}'\vec{k} - 2\omega\dot{y}'(\vec{i}\cos\omega t + \vec{j}\sin\omega t) + 2\omega\dot{x}'(-\vec{i}\sin\omega t$$
$$+ \vec{j}\cos\omega t) - \omega^2 x'(\vec{i}\cos\omega t + \vec{j}\sin\omega t)$$
$$-\omega^2 y'(-\vec{i}\sin\omega t + \vec{j}\cos\omega t)$$
$$= \ddot{x}'\vec{i}' + \ddot{y}'\vec{j}' + \ddot{z}'\vec{k}' - 2\omega\dot{y}'\vec{i}' + 2\omega\dot{x}'\vec{j}' - \omega^2 x^1\vec{i}' - \omega^2 y'\vec{j}' \quad (2)$$

角速度亦經證明爲一向量（實爲軸向量，*axial vector* 或稱 *pseudo-vector*），我們通常將其方向規定爲旋轉一右旋螺絲時此螺絲前進的方向，（如圖 18 — 24），而其大小爲單位時間之轉角，這也就是說，我們旋轉一右旋螺絲時，螺絲前進的方向，即爲螺絲之角速度的方向，而其大小爲單位時間內螺絲轉過的角度。因此，S' 坐標以 ω 角速度沿 Z 軸對 S 坐標轉動時，其角速度向量可被寫爲 $\vec{\omega} = \omega\vec{k} = \omega\vec{k}'$。故（2）式可簡化成

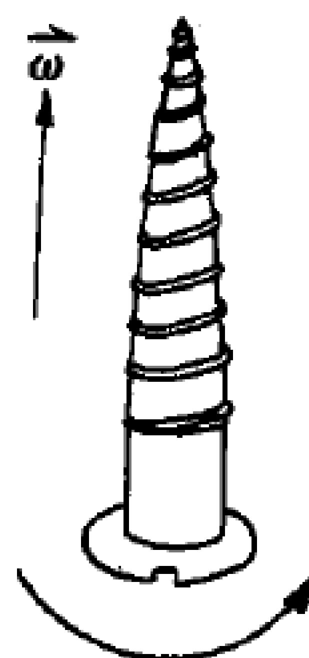


圖 18 — 24 角速度向量之表示法

$$\vec{a} = \vec{a}' + 2\omega\dot{x}'\vec{k}' \times \vec{i}' + 2\omega\dot{y}\vec{k}' \times \vec{j} + \omega^2 x'\vec{k} \times (\vec{k}' \times \vec{i}')$$
$$+ \omega^2 y'\vec{k}' \times (\vec{k}' \times \vec{j}')$$
$$= \vec{a}' + 2\omega\vec{k}' \times (\dot{x}'\vec{i}' + \dot{y}'\vec{j}') + \omega\vec{k}' \times (\omega\vec{k}' \times x'\vec{i}')$$
$$+ \omega\vec{k}' \times (\omega\vec{k} \times y'\vec{j}')。$$

又因 $\vec{k}' \times \vec{k}' = 0$，故上式可被寫成

$$\vec{a} = \vec{a}' + 2\omega\vec{k}' \times (\dot{x}\vec{i}' + \dot{y}'\vec{j} + \dot{z}'\vec{k}')$$

$$+\omega\vec{k}'\times[\omega\vec{k}'\times(x'\vec{i}'+y'\vec{j}'+z'\vec{k}')]$$

$$=\vec{a}'+2\omega\vec{k}'\times\vec{v}'+\omega\vec{k}'\times(\omega\vec{k}'\times\vec{r}')$$

或者

$$\vec{a}=\vec{a}'+2\vec{\omega}\times\vec{v}'+\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')$$

雖然這一加速度向量間的變換式是由 S' 坐標沿 Z 軸對 S 坐標轉動的特殊情況下求出的，但是這一結果也適用 S' 坐標沿任意方向以等角速度對 S 坐標轉動的問題。如果 S' 坐標的原點並不固定在 S 坐標的原點上，而是以一加速度 $\vec{a}_R$ 對 S 坐標運動，我們只須將 $\vec{a}_R$ 加在上式等號的右邊就可得對兩坐標之加速度的變換式。

如果一質點所受的總外力爲 $\vec{F}$，則對 S 慣性坐標牛頓運動定律爲 $\vec{F}=m\vec{a}$，$\vec{a}$ 是質點對 S 坐標的加速度。但是，假使我們並不坐在 S 坐標上觀看質點 m 的運動現象，而是坐在轉動坐標 S' 上觀察它，則質點對 S' 坐標的加速度 $\vec{a}'$ 與其所受的外力 $\vec{F}$ 應有如下的關係

$$\vec{F}=m\vec{a}=m[\vec{a}'+2\vec{\omega}\times\vec{v}'+\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')]$$

或者

$$m\vec{a}'=\vec{F}-2m\vec{\omega}\times\vec{v}'-m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}') \quad (3)$$

上式右邊後兩項是因爲 S' 坐標對慣性坐標轉動而產生的，其單位與力的單位（*dimensions*）相同，所以我們稱它們爲假力（*pseudo-force*）。從這兩種假力的形式我們可以看出它們有顯著不同的地方。第一種假力 $-m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')$ 除了與坐標的轉動角速度有關外，主要與質點對 S 坐標的位置 $\vec{r}'$ 有關，而與其速度 $\vec{v}'$ 無關。對我們現在所選擇的特殊的轉動坐標 S' 而言，$-m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')=m\omega^2(x'\vec{i}'+y'\vec{j}')$，即其方向垂直於轉軸（$Z$ 軸）而向外，而其大小爲 $m\omega^2\sqrt{x'^2+y'^2}$，故我們稱它爲離心力（*centrifugal force*）。另一種假力是 $-2m\vec{\omega}\times\vec{v}'$，它與質點對 S' 坐標的速度 $\vec{v}'$ 有關，若質點對 S' 之速度爲零，則此項假力不存在。我們稱這一假力爲科里奧利力（

Coriolis force ）。茲詳細敘述這些假力所引起的現象。

假設質點 m 對 S' 坐標的速度爲零，則它對 S' 坐標的位置始終不變。現在 S' 坐標以等角速度 ω 對 S 坐標轉動，因此，對慣性坐標 S 上的觀察者而言，它是以等速率作圓周運動。若 r' 爲質點與轉軸的距離，則它對 S 坐標的向心加速度的大小爲 $\omega^2 r'$ ；根據牛頓第二定律質點必受一大小爲 $m\omega^2 r'$ 的向心力的作用。例如，我們可用一彈簧秤將質點拉住，則要使 m 以 ω 的角速度轉動，彈簧秤須施 $m\omega^2 r'$ 的向心力於 m 上。對 S 坐標上的觀察者而言，質點只受到這一種力。但是坐在 S' 坐標（與質點一起轉動）上觀察它時，彈簧雖然仍施一相等的張力於 m 上，質點對 S' 坐標系卻靜止不動。因此，S' 上的觀察者將說另有一與彈簧的張力大小相等而方向相反的力施於 m 上。這一種力便是離心力，它的方向是由轉軸向外，而大小爲 $m\omega^2 r'$ 。對 S 坐標上的觀察者而言離心力雖是虛假的，但對 S' 坐標上的觀察者離心力卻極爲眞實。實驗室內用來分離微生物或微小粒子的超離心機（ *ultra-centrifuge* ）就是利用這種假力。超離心機“施於”質點的離心力常比其重力大上千萬倍。1925 年瑞典化學家斯維德堡（ *J. Svedberg* ）由觀察蛋白質分子在超離心機強大的人造離心力場內沿半徑方向沉降的情形，而成功地測量出蛋白質分子的分子量。現在我們可用這種離心法準確地（ 1 %以下）測量介乎 50 至 10^8 的分子量。

若一質點對轉動坐標 S' 之速度不爲零，則科里奧利力及離心力同時存在。爲簡單起見我們先論述下面的問題。設質點沿一旋轉桌面（即 S' 坐標）的半徑方向以等速率 v_r' 運動，桌面之角速度 ω 爲定值（如圖 18 — 25 ）。站在 S 坐標（即地面）上的觀察者所看到的質點的路徑應如 AB 弧之情形。因 B 點比 A 點離轉軸遠，故質點在 B 點對 S 坐標的速度的 $\hat{\theta}$ 方向（即與半徑垂直之分量）分量比在 A 點時爲大，即與半徑垂直之方向有一加速度，因此在這一方向必有一外力作用於質點。這一

外力對 S 及 S' 上的觀察者而言是相等的，我們可假想它仍然是由一彈簧秤施於質點的。但是，對 S' 上的觀察者而言，質點只沿徑向等速運動，與半徑垂直之方向無速度；因此，彈簧施於質點的 $\vec{\hat{\theta}}$ 方向的力必抵銷了另一大小相等但方向相反（在 $-\vec{\hat{\theta}}$ 方向）的力。後一種力即爲 S' 上的觀察者所觀測的科里奧利力。雖然由（2）式可直接求出科里奧利力的大小與方向，但是我們仍可用下述比較直接的方法找出它，這可以幫助我們徹底了解科里奧利力的由來，以去除其神祕性。

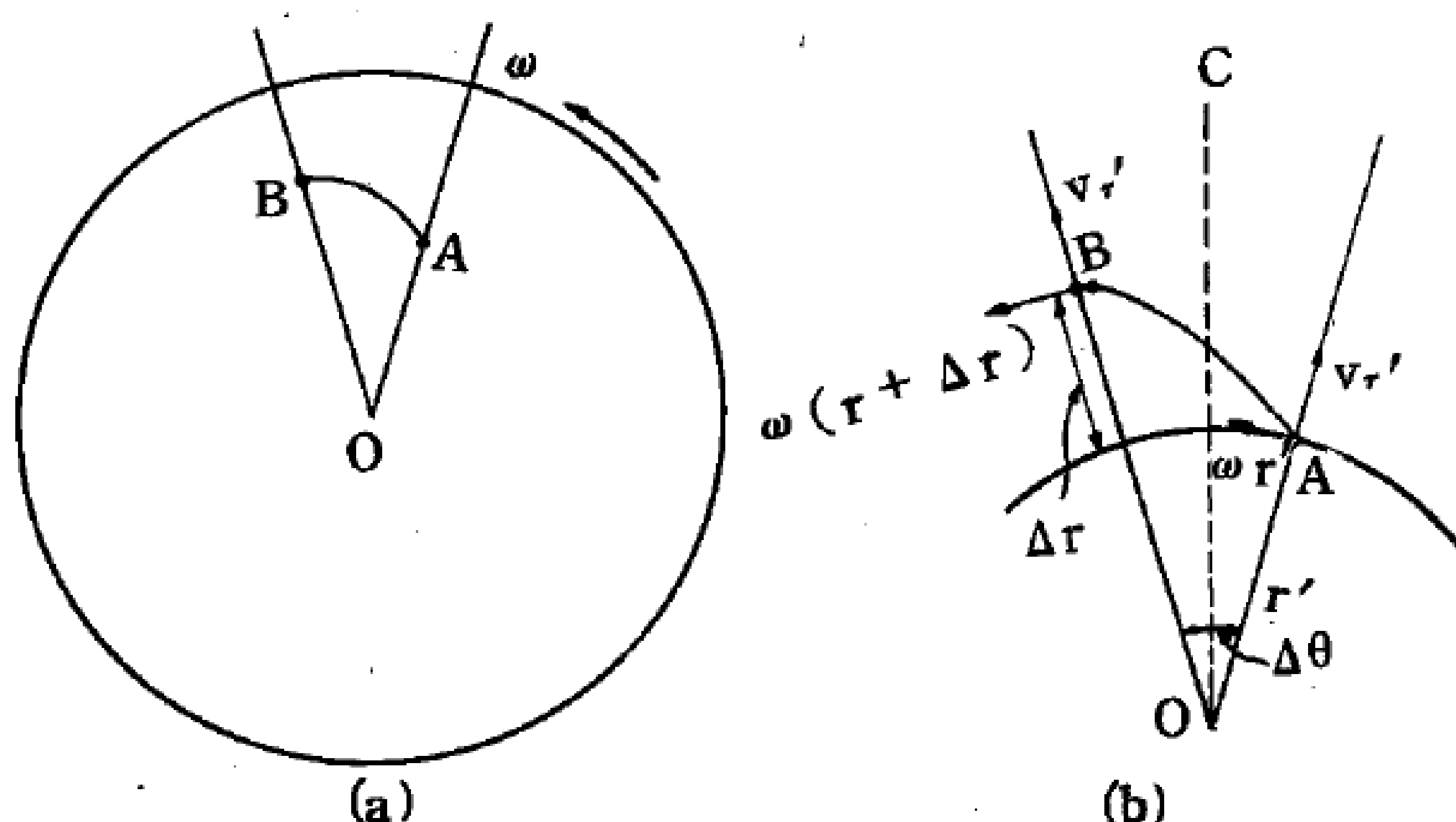


圖 18—25　科里奧利力產生的原因

設在 Δt 時間內質點由 A 位置移到 B 位置，OA 及 OB 的夾角爲 $\Delta\theta$（如圖 18—25(b)），OC 爲 $\Delta\theta$ 的平分線，則在 Δt 時間內質點垂直於 OC 方向的速度（對 S 坐標而言）分量的改變量 Δv_θ 爲

$$\Delta v_\theta = [\omega(r+\Delta r)\cos\frac{\Delta\theta}{2} + v_r'\sin\frac{\Delta\theta}{2}] - [\omega_r\cos\frac{\Delta\theta}{2} - v_r'\sin\frac{\Delta\theta}{2}]$$

因 $\Delta\theta$ 很小，故

$$\cos\frac{\Delta\theta}{2} \simeq 1 \qquad \sin\frac{\Delta\theta}{2} \simeq \frac{\Delta\theta}{2}$$

所以上式可被化簡成

$$\Delta v_\theta \simeq \omega\Delta r + v_r'\ \Delta\theta$$

質點對 S 坐標的 $\hat{\theta}$ 方向的加速度 a_θ 爲

$$a_\theta = \frac{\Delta v_\theta}{\Delta t} = \omega\frac{\Delta r}{\Delta t} + v_r'\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

又因

$$\frac{\Delta r}{\Delta t}=v_r' \qquad \frac{\Delta\theta}{\Delta t}=\omega$$

故 $$a_\theta = 2\omega v_r'$$

因此 $$F_\theta = 2m\omega v_r'$$

F_θ 爲彈簧施於質點的沿 $\overrightarrow{\hat{\theta}}$ 方向的外力，其方向與 $\overrightarrow{\hat{\theta}}$ 方向相同。對 S 坐標上的觀察者而言，這是質點所受的唯一與半徑方向垂直的外力，這是使質點有加速度分量 a_θ 所需眞實的外力。但是，對 S' 坐標上的觀察者而言，質點是以等速度沿半徑方向運動，因此，與半徑垂直的方向沒有已知的力，所以這一觀察者將斷定有一等於 $-2m\omega v_r'$ 的力量施於質點上，這便在 S' 坐標上所看的科里奧利力。當然，對 S' 而言，在半徑方向仍有離心力 $m\omega^2\overrightarrow{r'}$存在；爲著使質點對 S' 作等速度運動，必另外有一眞正的外力 $-m\omega^2\overrightarrow{r'}$ 施於質點上。對 S 坐標上的觀察者而言，沿半徑方向只有 $-m\omega^2\overrightarrow{r'}$ 的外力存在，而沒有離心力存在。

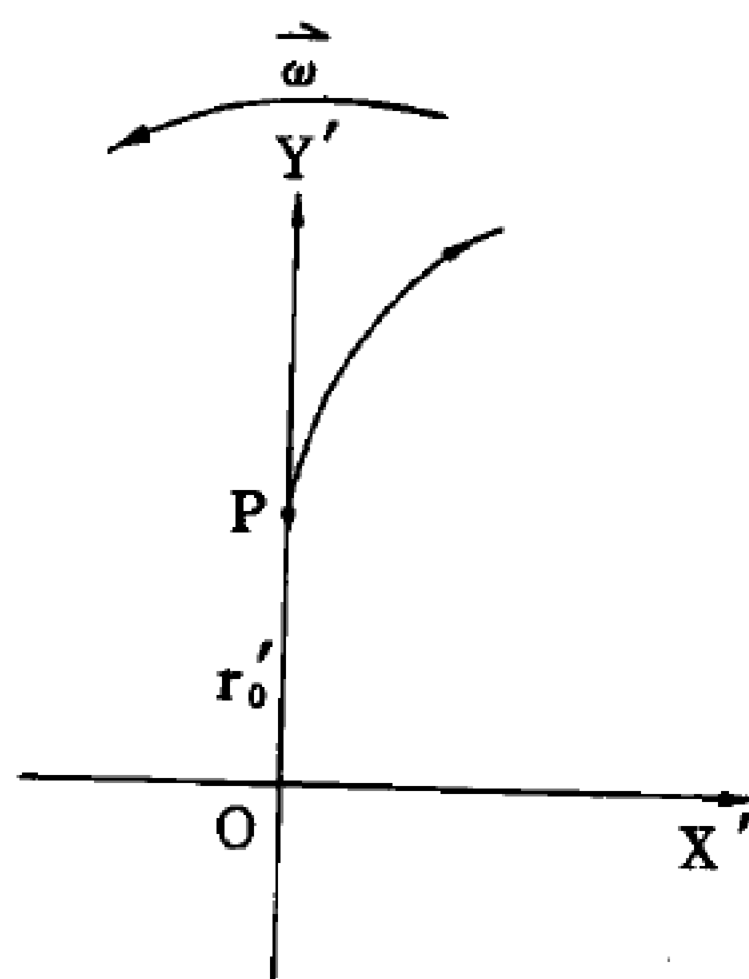


圖 18—26
質點在光滑桌面上運動的路徑

如果我們不限制質點沿徑向等速度運動，而是先將它用一根繩子拉住並使其隨 S' 坐標轉動，則質點對 S' 坐標的速度爲零，而對 S 坐標質點則作等速圓周運動。然後我們將質點放開使其在桌面上運動，若桌面爲完全光滑的，則在 S' 坐標上的觀察者將看到質點的路徑爲如圖 18—26之形狀。這位觀察者說質點因受到離心力及科里奧利力的作用而呈現這種運動。當質點被放開時，離心力使其向外加速。但是，當質點有一速度時，質點即受到"$-2m\overrightarrow{\omega}\times\overrightarrow{v'}$"的科里奧利力的作用。因爲科里奧利力與 $\overrightarrow{v'}$ 垂直（由 $\overrightarrow{\omega}\times\overrightarrow{v'}$ 之

向量積可知），故它只使質點的運動方向改變，而致有如圖 18 — 26的路徑。而作用於一運動中的電荷的磁力是與其速度垂直的，這一磁力只能改變帶電粒子的運動方向而不能改變其速率。現在，科里奧利力也與 $\vec{v}'$ 垂直，故也只能改變質點的運動方向（對 S' 坐標而言），而不能改變其速率。因爲桌面爲完全光滑，故站在 S 坐標上的觀察者將看到質點沿一直線等速運動，其路徑並不像圖 18 — 26那樣複雜。

我們知道地球對固定的恆星（*fixed stars*）以等角速度在轉動，因此，固定在地面上的參考系爲一轉動坐標；所以在地面上觀測物體的運動時，必定有一些現象是由離心力及科里奧利力所引起的。當然，這些假力所引起的效應不應很大，否則我們便無法由靠近地面所作的實驗或觀測歸納出牛頓運動定律。下面論述一些與離心力有關的現象，我們曉得地球在赤道的部分稍微凸出，而像一個橢圓體；這一現象便是由於地球沿南北軸自轉時，在赤道的離心力比其他部分大而引起的。另一現象是在地面上測得的有效重力加速度（可用單擺測量）隨緯度之增加而稍微變大。這一現象不能單獨用地球在赤道稍微凸出的事實來解釋，它大部分是由離心力引起的。如果地球是球形，其半徑爲 R，則在赤道上所量到的重力加速度（包含離心力）最少應比在北極所量得的小 $\omega^2R \simeq$ 3.4厘米／秒^2。實際量度的差別約爲5.2厘米／秒^2，這一差別可由地球像一橢圓體的事實解釋之。

科里奧利力所引起的效應與物體對地面之速度有關。現在我們先估計一物體靠近地面垂直自由降落時科里奧利力所引起的效應。如果地球不動，則物體必沿地球之半徑方向降落。爲簡單起見，我們只論述在赤道自由降落之情形。設一物體自 h 米高處落下，初速爲零。令 S' 坐標固定在地面上，X' 軸向東方，Y' 軸向北方，而 Z' 軸垂直向上（如圖 18 — 27）。則由（3）式可知質點對 S' 坐標的運動方程式爲

$$m\vec{a}' = \vec{F} - m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}') - m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{R}) - 2m\vec{\omega}\times\vec{v}'$$

此處$\vec{F}$爲地球予物體的重力，$\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{R})$爲$S'$坐標之原點$O'$對地心的向心加速度，$\vec{R}$爲地心至$O'$點的位置向量，$\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')$爲質點對$O'$點的向心加速度，因此質點對地心的向心加速度爲$\vec{\omega}\times[\vec{\omega}\times(\vec{R}+\vec{r}')]$，而$-m\vec{\omega}_r\times[\vec{\omega}\times(\vec{R}+\vec{r}')]$則爲物體所受的離心力。因爲實際測量重力加速度時已包含這一項離心力，

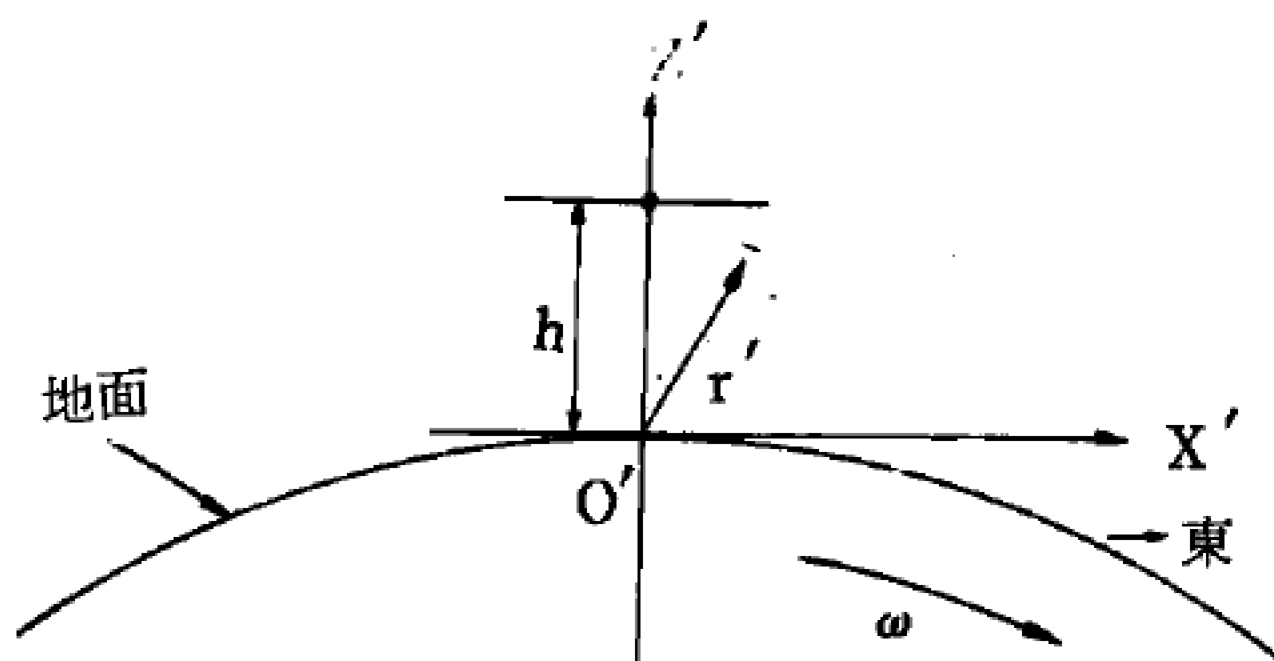


圖 18－27

科里奧利力對自由落體的影響

故有效重力加速度（卽實際測得的）與萬有引力$\vec{F}$及離心力之關係爲

$$m\vec{g}=\vec{F}-m\vec{\omega}\times[\vec{\omega}\times(\vec{R}+\vec{r}')]$$
$$=\vec{F}-m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{R})-m\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{r}')$$

若質點離地面不很高，$\vec{g}$大約爲常數，其方向垂直向下（卽$-\vec{k}'$方向）因此，質點m對S'坐標的運動方程式爲

$$m\vec{a}'=-mg\vec{k}'-2m\vec{\omega}\times\vec{v}'$$

現在 $\vec{\omega}=\omega\vec{j}'$，$\vec{v}'=\dot{x}'\vec{i}'+\dot{y}'\vec{j}'+\dot{z}'\vec{k}'$，$\vec{a}'=\ddot{x}'\vec{i}'+\ddot{y}'\vec{j}'+\ddot{z}'\vec{k}'$.

故上式可被寫成

$$m(\ddot{x}'\vec{i}'+\ddot{y}'\vec{j}'+\ddot{z}'\vec{k}')=-mg\vec{k}'-2m\omega\vec{j}'\times(\dot{x}'\vec{i}'+\dot{y}'\vec{j}'$$
$$+\dot{z}'\vec{k}')=-mg\vec{k}'+2m\omega\dot{x}'\vec{k}'-2m\omega\dot{z}'\vec{i}'$$

或者

$$\ddot{x}'=-2\omega\dot{z}' \qquad (4)$$
$$\ddot{y}'=0$$
$$\ddot{z}'=-g+2\omega\dot{x}'\simeq-g \qquad (5)$$

上式中ω及$\dot{x}'$皆很小，故與g比較時可被忽略不計。因$t=0$時$z'=h$，$\dot{z}'=0$，故積分（5）式可得

$$\dot{z}'=-gt \qquad z'=h-\frac{g}{2}t^2$$

因此（ 4 ）式可被寫成

$$\ddot{x}' = -2\omega\dot{z}' = 2\omega g t$$

因 $t = 0$ 時，$\dot{x}' = 0$ ，$x' = 0$，故將上式積分之可得

$$x' = \frac{1}{3}\omega g t^3$$

當質點落到地面時 $z' = 0$，所需之時間為 $t = \sqrt{2h / g}$ 。將此值代入上式得 $x' = \frac{1}{3}\omega g\left(\frac{2h}{g}\right)^{\frac{3}{2}}$ 。從這一結果我們曉得由於科里奧利力的影響質點自由降落時並不鉛垂落下，而是稍微偏向東方落下。若質點自 100 米高處釋放，則將地球的角速度及重力加速度代入上面之結果，可求出質點落到地面後向東偏差 2.2 厘米。這種微小的偏差在日常的經驗裏當然看不出來。但是，有些場合科里奧利力是不能忽略的，並且是產生某些現象的主要原因。例如，旋風（ *cyclone* ）及反旋風（ *anticyclone* ）的形成，甚至於整個氣象，都是受到科里奧利力的影響。我們曉得風是空氣從高氣壓處流到低氣壓處所產生的氣流。如果地面有一低氣壓區，則空氣由四周向此低壓區流動時即發生旋風，龍捲風及颱風便是屬於這類風。若在北半球，氣體由西向東流時，氣體所受的科里奧利力的方向係向南，故氣流向南偏，即向前進方向的右邊偏。

【轉動抽機】（ Rotary pump ）

革得（ *Gaede* ）所發明的抽氣機，有各種型式，一般的主要構造如下：將待抽氣的容器連接於 A 管，A 管直接通到 B 室的空間。當偏心圓柱 C 向所示方向轉動時，偏心圓柱和 B 室內壁的接觸點就按順時針方向轉動，因而禁閉了 B 空間的部分空氣。滑動桿 D 受到彈性金屬片 F 的壓力，始終和在轉動的偏心圓柱 C 保持接觸。當 B 的空氣被壓縮至比大氣壓稍高時，開關 G 就啓開，氣泡

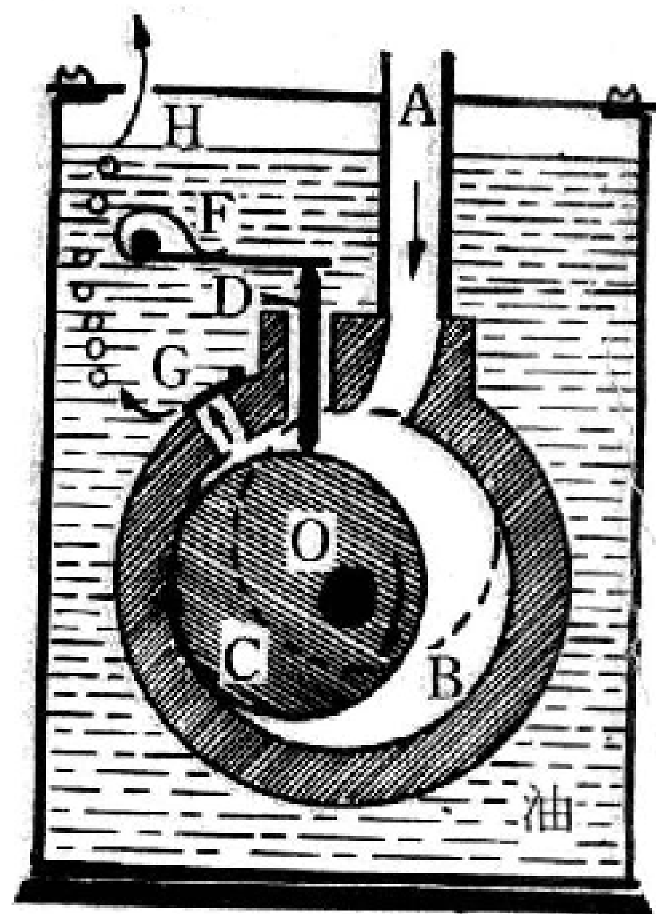


圖 18 — 28

因而通過油中，至經過蓋上的孔H逸出外面。偏心圓柱的轉動使用一電動機。只使用這種抽機可達到的眞空度約爲 10^{-1} ～ 10^{-2} 毫米水銀柱。若與擴散抽機（*diffusion pump*）連接使用，則容易達到10^{-3}～10^{-4}毫米水銀柱程度，性能好者可達 10^{-8} 毫米水銀柱。

【轉動配分函數】（Rotational partition function）

分子的能態可由量子力學獲知，並可分爲三部分，即移動、轉動及振動三態。此三部分各不相關，即

$$E = E_{trans} + E_{rot} + E_{vib}$$

分子的配分函數可證明爲

$$Z = Z_{trans} + Z_{rot} + Z_{vib}$$

上式中Z_{rot}即爲轉動配分函數。例如一線狀分子的轉動動能爲

$$E_{rot} = L(L+1)^2 / 8\pi^2 I$$

式中I爲分子的慣性矩，L爲轉動量子數。而每一L態有 $2L+1$ 次簡併度，故其配分函數爲

$$Z_{rot} = \sum_{L=0}^{\infty} (2L+1)\, e^{-E_{rot}/kT}$$

若此分子由同種原子組成，則對L之和須以量子對稱條件描述，但這對氫同位素爲重要；對其他分子，此條件使對L之和約化爲積分，且

$$Z_{rot} = 8\pi^2 IkT / h^2$$

非線狀分子情況雖較複雜，但可用類似方法處理之。

【轉動振動能譜】（Rotation-vibration spectrum）

同時改變分子轉動及振動能態所產生的能譜。此類譜線的頻率較純轉動者大得多，且一般多發生在紅內線區域附近。當分子旣轉動又振動時，其能量爲

$$E_{J,S} = h\nu_0 (S+1/2) + \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1) - \frac{(\frac{1}{2}h\nu_0)^2}{E_D}(S+1/2)^2 - D_\nu J^2 (J+1)^2 + \cdots$$

式中S及J分別爲振動及轉動量子數，第一項爲純振動的能量，第二項爲純轉動的能量，其後二項爲轉動與振動交互作用的能量，較諸前二項爲甚小，故常忽略。此能譜的選擇定則爲

$$\triangle J=\pm 1$$

$$\triangle S=\pm 1,\pm 2,\cdots$$

若分子只有簡諧振動，則僅允許$\triangle S=\pm 1$。實際上，分子振動多爲不對稱者，且其振幅增大，因此轉動振動能譜的躍遷，主要爲$\triangle S=\pm 2,\cdots$。

【轉動能階】(Rotational levels)

球形陀螺及直線形分子因僅有一慣性矩值I，其能量依量子力學可導出爲

$$E_r=BJ(J+1)-DJ^2(J+1)^2$$

$$J=0,1,2,\cdots \qquad (1)$$

B爲轉動常數，等於$h/8\pi^2cI$，$D=4B^3/\omega^2$爲離心常數，ω爲振動頻率。若分子可視爲剛性轉體（*rigid rotor*），則（1）式中第一項即已足夠，但因分子在轉動時因受離心力影響其鍵長及外形稍變，即爲非剛性轉體（*nonrigid rotor*）時，其轉動能階須加一修正項。

對稱陀螺的能階需用兩個量子數表示，一爲總角動量子數J，另一爲總角動量在陀螺之對稱軸上投影的分角動量之量子數K（$K=J,J-1,\cdots,-J$），不計離心效應時其能量爲

$$E_r=BJ(J+1)+(A-B)K^2$$

式中$B=h/8\pi^2cI_B$，$A=h/8\pi^2cI_A$。

不對稱陀螺的能階甚爲複雜，不能以一簡單公式表示之。

【轉動動能】(Rotational kinetic energy)

有一質量m之質點，距轉軸r處以角速度ω行轉動，則其運動線速率爲$v=\omega r$。依據質點之動能定義爲$K=\frac{1}{2}mv^2$，故$K=\frac{1}{2}mr^2\omega^2$

，即爲轉動動能。

又同爲一剛體上之各質點之轉動總動能，因角速度 ω 皆同，則 K 可寫爲

$$K = \frac{1}{2}(m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots\cdots)\omega^2$$
$$= \frac{1}{2}(\Sigma m_i r_i^2)\omega^2$$

若以轉動慣量定義則爲 $K = \frac{1}{2} I\omega^2$，而 $I = \Sigma m_i r_i^2$。若剛體除轉動外，又相對於參考坐標移動，則剛體的總動能爲

$$E_k = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

【轉動常數】（ Rotational constant ）

二原子分子（ *diatomic molecule* ）擁有一不爲零的雙極矩時，可吸收或放射純轉動的線譜，此線譜由一些等間隔的譜線組成，其頻率間隔爲

$$\Delta\nu = 2\hbar / 8\pi^2 I$$
$$= B_o$$

B_o 卽稱爲轉動常數，而 I 爲分子對通過其質心且垂直於分子內兩原子核連線之軸的慣性矩。

【轉動場】（ Rotating field ）

一向量場，場內各點的向量在一平面內轉動，且各平面相互平行；同平面內所有向量皆同相位，不同平面間有相位之改變。例如，感應電動機的轉動磁場，圓及橢圓偏振光的電與磁向量。

【轉動軸】（ Axis of rotation ）

物體轉動時，通過各同圓心而與圓面垂直之軸。

【轉動晶體法】（ Rotating crystal method ）

一種 X 光分析晶體結構的技術。以 X 光束射在一繞垂直於光線的晶軸旋轉的晶體上，滿足布勒格條件的各面就會陸續出現，而反射的 X 光

束就在照相底片上呈點狀。由此法可決定晶體中各對稱元素及單位晶格大小。

【轉動換流機】(Rotary converter)

這是一種單樞換流機，也就是線圈繞製在一個電樞上的發電機和電動機。在無線電機器內，最常用的是將低壓直流變換爲高壓直流的轉動換流機，用來作爲發射機和接收機的高壓電源；它的電源(開動力量)通常是取自專門的蓄電池或飛機上的自備電網，或汽車的電網。

隨著線圈及整流子數目的不同，轉動換流機可送出一種或數種高壓。爲了減小脈動哼聲，在低壓和高壓電路內裝有專門的濾波器(*filter*)。

【轉動慣量】(Rotational inertia)

物體之能維持其原有之轉動狀態者，即因其具有轉動慣性所致，其值稱爲轉動慣量，以 I 表之。I 即爲一質點繞一軸轉動時之轉動慣量

$$I = mr^2$$

式中 m 爲質點之質量，r 爲質點至軸線之垂直距離。

一剛體對一轉軸的轉動慣量，即爲各質點對該轉軸之轉動慣量之和。如圖 18 — 29，O 爲此一物體之轉動軸線所通過之處，其上之質點 m_1 ，m_2 ，m_3 ……與 O 之垂直距離分別爲 r_1 ，r_2 ，r_3 ……；則此轉動體之轉動慣量

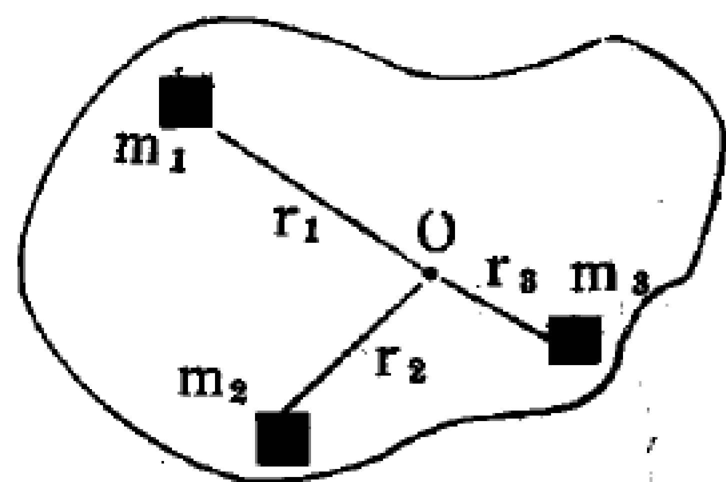


圖18—29

$$I = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \cdots\cdots = \Sigma m_i r_i^2$$

一物體之轉動慣量如無向量，它與轉動的速度無關(靜止之物亦具有轉動慣量)，而是視物體質量之分佈、形狀及轉軸之位置而定。

轉動慣量之因次爲 ML^2 ，通常以仟克米^2 或斯勒呎^2 爲單位。各種常見物體的轉動慣量，如圖 18 — 30 (見下頁)所示。

【轉動頻率】(Rotational frequency)

即每秒中轉動的次數。

【轉動選擇定則】(Rotational selection rules)

分子純轉動譜線的選擇定則。若二原子分子(*diatomic molecule*)改變轉動態，則吸收或放出能量為

$$h\nu=\frac{h^2}{8\pi^2}\left[\frac{J'(J'+1)}{I'}-\frac{J''(J''+1)}{I''}\right]$$

的量子，式中 I' 及 I'' 為此分子對通過其質心且垂直於其二原子核連線之軸，在轉動量子數為 J' 及 J'' 時的慣性矩。其選擇定則為

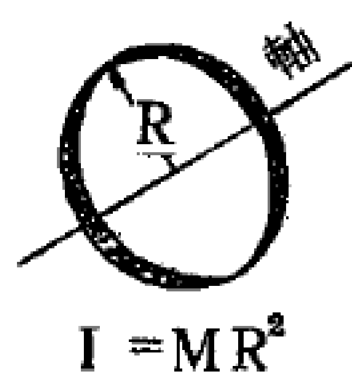
1. $J'-J''=0$　　如分子的電偶極矩為零。

2. $J'-J''=1$　　如分子的電偶極矩不為零。

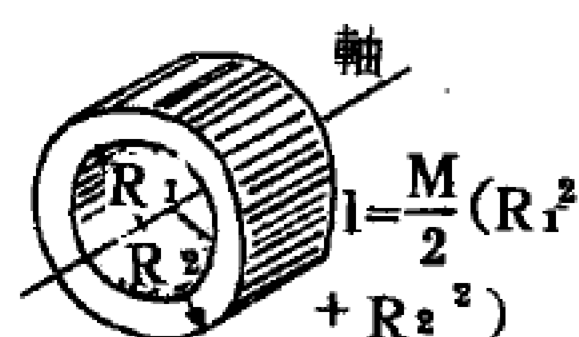
對稱分子(如 H_2 或 O_2)其電偶極矩為零，依 1. 得知無純轉動線譜。非對稱分子(如 HCl)，依 2. 其轉動譜線為(純轉動時 $I''=I'=I$)

$$\nu=2J'B \qquad J'=1, 2, 3, \cdots$$

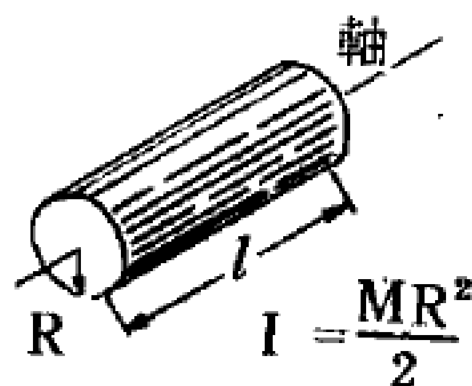
式中 $B=h/8\pi^2 I$，故得一等間隔的線譜。



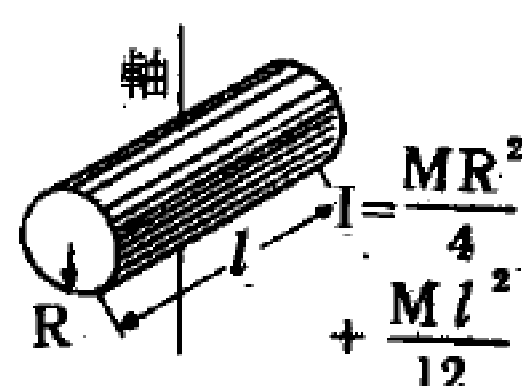
(a) 環對圓柱軸



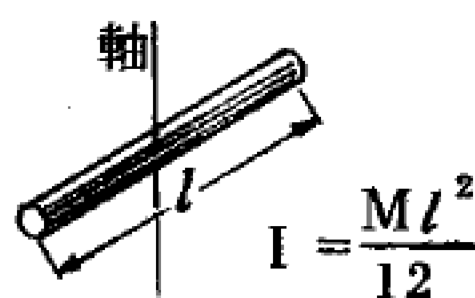
(b) 同心圓柱(或圓環)對圓柱軸



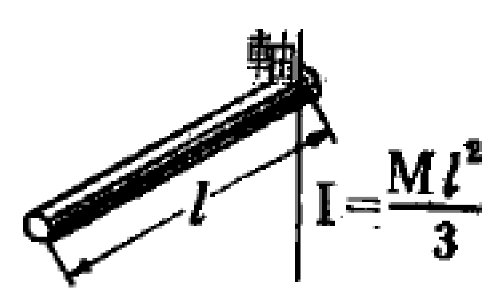
(c) 實心圓柱對圓柱軸



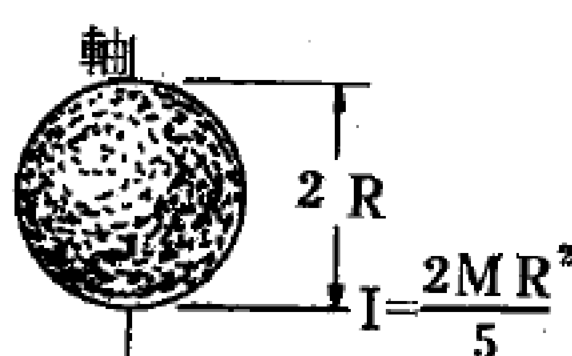
(d) 實心圓柱(或圓盤)對中心直徑



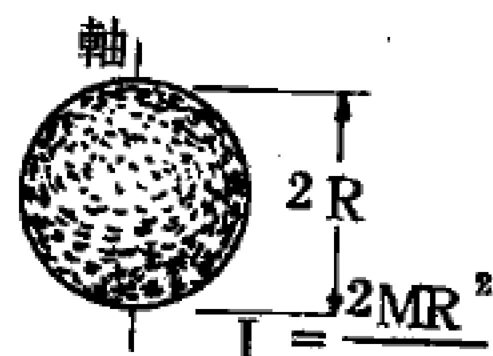
(e) 細棒對通過中心與長度垂直之軸



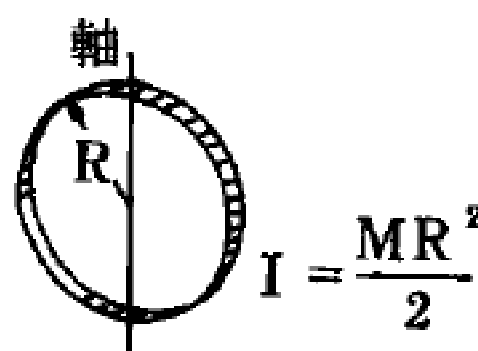
(f) 細棒對通過一端與長度垂直之軸



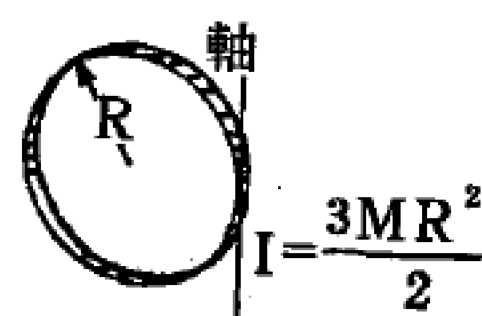
(g) 實心球對任何直徑



(h) 薄球殼對任何直徑



(i) 環對任何直徑



(j) 環對任何切線

圖 18 — 30

常見實體(均勻密度)對某軸之轉動慣量，各式之M表示物體的總質量。

【轉移阻抗】(Transfer impedance)

即反射阻抗。

參閱“反射阻抗 (*Reflected impedance*)”條。

【轉移特性曲線】(Transfer characteristic curve)

指屏路加入負荷後的柵壓屏流特性曲線。

【轉速計】(Tachometer)

測量旋轉機器每分鐘轉速之儀器。

【轉播】(Rebroadcast)

是通過中間設備(轉播設備)而發送信號。轉播站將收到的信號進行放大，然後以更大的功率沿著導線(有線廣播)或用無線電(無線電轉播)繼續發送出去。

【轉盤】(Pan)

能將電視攝像鏡箱轉移或傾斜，又可以垂直或作水平，以便取得移動目標物的連貫動作。

【轉數】(Turns)

指變壓器或一般線圈應繞的轉數。

【轉數比】(Turns ratio)

變壓器次級圈數與初級圈數之比率。

【轉數計】(Revolution counter)

為繞線機上使用的儀器。

【醫藥電子學】(Medical electronics)

如利用高頻治療，或使用電子儀器觀察心臟或診症等。

【鎝】(Technetium - 99^m)

鎝 - 99^m是鉬 - 99 (*molybdenium*-99)放出 β 粒子衰變而成，這種蛻變是經由一種稱為同質異構過度 (*isomeric transition*) 的過程，變到能階較低且半衰期較長的狀態。

至於萃取的方法是將鉬元素存放於有輻射屏護的容器內，讓它自行放射衰變成為鎝，再加入鹽水將它與母體分離卽得。此種裝置稱為核子母牛（*nuclear cow*）。

由於鎝 - 99^m 的半衰期很短，僅 6 小時，可以用來作掃描診斷，尤其是腦部的診斷。

【鎘】（Cadium；Cd）

鎘為一金屬化學元素，色青白，似鋅，富延展性。其原子序數為48，有 ^{106}Cd，^{108}Cd，^{110}Cd，^{111}Cd，^{112}Cd，^{113}Cd，^{114}Cd 及 ^{116}Cd 等同位素。

由於 ^{113}Cd 在熱中子能量附近相當於一共振能量值，故其對熱中子有異常大的吸收係數（*absorption coefficient*）。隨中子能量之升高，此吸收係數則急遽減小，故利用鎘可對熱中子作極有效的屏障。通常僅需約 0.5 毫米至 1.5 毫米厚的鎘片，卽可有效截止熱中子而將熱中子與快中子分開。鎘片的截止能量隨其厚度而異，自 0.4eV 至 0.8eV。

【鎘比率】（Cadium ratio）

鎘比率（R_{Cd}）之定義為

$$R_{Cd} = \frac{C}{C_{Cd}} = \frac{C_{th} + C_{epi}}{\frac{1}{F_{Cd}} C_{epi}}$$

為未覆以鎘片與覆以鎘片時活化度的比率。

【鎘差分法】（Cadium difference method）

在核反應中，利用熱中子不能穿過鎘薄片的特性，在熱中子與快中子共同存在的場中可由兩次活化測定；一次將欲活化的物質覆以鎘片，一次不覆以鎘片，如是可將熱中子與快中子所生的影響分開，此為鎘差分法，卽

$$C_{th} = C - F_{Cd}\ C_{Cd}$$

式中 C_{th} 爲由熱中子在活化物質中所產生的活化度，C 爲無鎘片覆蓋時的活化度，C_{Cd} 爲覆以鎘片時的活化度，F_{Cd} 爲修正係數。

【鎵】（ Gallium ；Ga ）

爲銀白色金屬，熔點爲 29.7 °C ，沸點爲 2,403 °C，其液體可冷卻至 0 °C 而不結晶。25 °C 時比重爲 5.9 ，其液體反較固體爲重。易溶於酸及鹼，微溶於汞，高溫時能與大多數金屬元素作用。是週期表中第三族元素，原子序爲 31。

鋁礬土（ $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ ， bauxite ）中含有少量的鎵，鋅礦中亦含少量。氯化鎵可用乙醚或異丙醚萃取而與其他物質分離，而後在鹼性溶液中以電解還原可得純鎵。

鎵用於半導體及電晶體中產生電洞，亦用以製弧光燈及低電阻的接觸電極。

【鎖入式陰極】（ Locked cathode ）

新式陰極射線管之避震設備。

【鎖式電子管】（ Locked tube ）

自鎖式的電子管，絲壓多採用 7 伏特，但供以 6.3 伏特亦可勉強使用。

【鎢】（ Tungsten ；W ）

一種難熔金屬化學元素，色灰而有光澤，質硬而脆。其熔點爲 3,000 °C 。可用來製造電子管及白熾燈等的燈絲。

【鎢弧燈】（ Tungsten arc light ）

鎢弧燈是在玻璃球內封入鎢製電極與燈絲的燈泡。如圖 18 — 31 所示，有直流型和交流型二種。

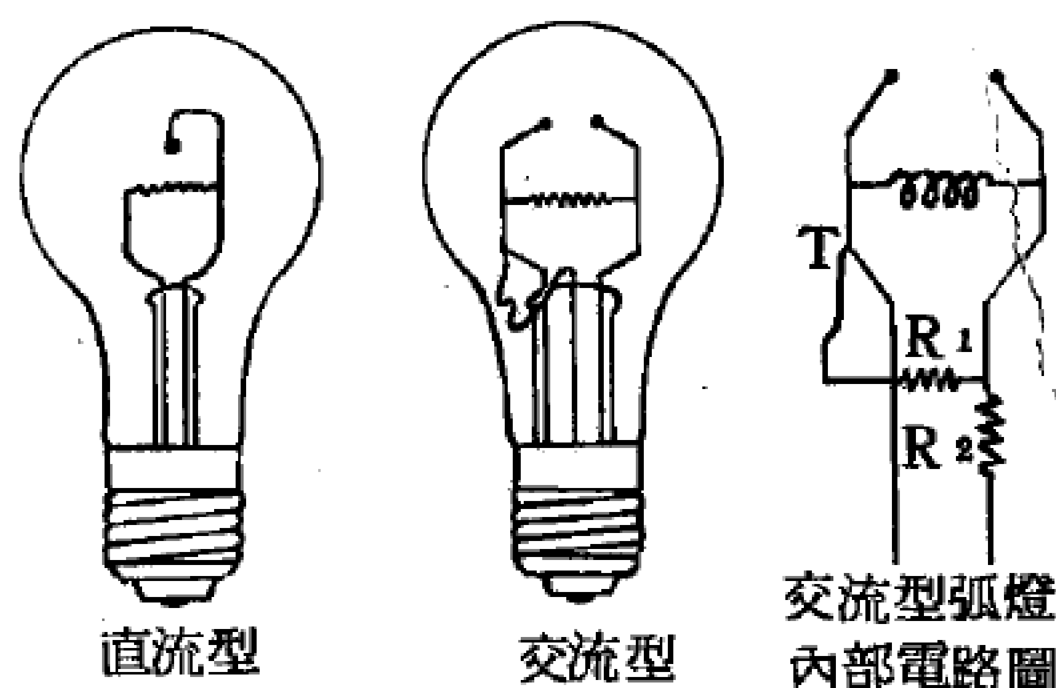


圖 18 — 31　鎢弧燈

在直流型中，先加熱燈絲，使它放出熱電子而在此燈絲與電極放電弧發光。在交流型中，則先在補助電極間放電弧，然後引起主電極間的電弧。當點光源使用部分爲白熱的鎢球電極，陽極爲 2,900 °K，輝度約爲 100,000 燭光/平方厘米程度。

它的用途可做爲紅外線光源及照明光源，但最近不常用。

【鎢絲】(Tungsten filament)

用鎢抽成的細金屬絲，可耐受高溫；擔任放射時，可不受屏陰間電場影響其放射量。

【鎢氬管整流器】(Tungar rectifier)

鎢氬管整流器常用於充電。如圖 18 — 32，鎢氬管內塡充 5 *cm* (*Hg*) 之氬氣，陽極爲石墨或鎢質的小錐體；陰極燈絲爲鎢絲圈。燈絲二端連於降壓器 *T*，欲充電池連接於屏極與副線圈間。如此則欲整之電流及燈絲之發熱電流均由變壓器之副線圈供給。副線圈內之交變電動勢，使屏極與燈絲之電位交互各爲正、負，而僅當屏極爲正之半期內，電子始能自燈絲射過而成通路。

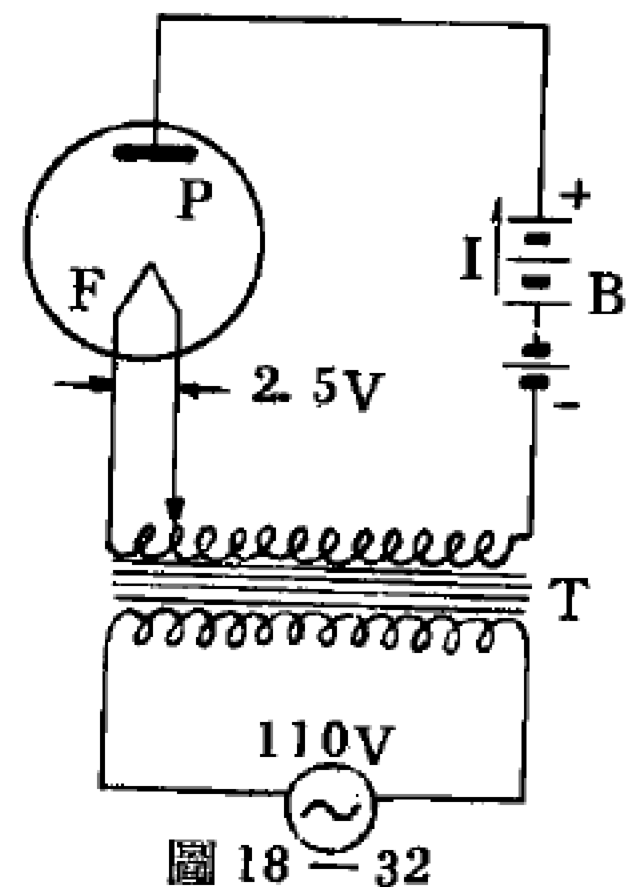


圖 18 — 32

【鎳】(Nickel ; Ni)

金屬化學元素之一，色白似銀，有光澤，不易氧化，可製各種合金。電子管電極常利用此種金屬製成。

【鎳格林】(Nickeline)

由銅、鋅、鎳所熔成的合金，具有大的電阻率 (長度爲 1 米，截面積爲 1 平方毫米時，電阻約爲 0.3 歐姆) 和小的電阻溫度係數，用於變阻器和電阻箱。

【鎳銀線】(Nickel silver)

含有銅、鎳、鋅之合金線，常稱德國銀線。

【鎳鉻合金】（Nichrome）

由鎳、鐵、鉻、錳所熔成的合金，具有大的電阻率（長度爲1米，截面積爲1平方毫米時，電阻約爲1歐姆）和小的電阻溫度係數。用來製造變阻器和高阻金屬電阻。

【鎳鋁美】（Alumel）

一種高電阻的鎳鋁合金。

【鎳鐵蓄電池】（Alkaline storage battery）

普通稱鹼液蓄電池，其分類有二：一種是鎳鐵，另一種是鎳鎘，但使用的電液都是氫氧化鉀。此式電池爲愛廸生於1901年所發明，因容器與極板都是用鋼製成，對於振動或碰撞，極板都無脫落或扭曲之弊。

【鎮星】（Saturn）

土星之中國古名。

詳閱"土星（*Saturn*）"條。

【鎮流電阻器】（Ballast resistor）

爲了正常工作而需要在電路中流過一定大小的電流時，作爲一個固定負荷而接入電路的電阻。例如，在將數個燈絲電流不同的電子管的燈絲電路串聯時，就在需要較小電流的燈絲電路上並聯一個鎮流電阻器，使流過總燈絲電路內的電流，有一部分通過鎮流電阻器。接收機或擴音機倘以一鎮流電阻器與電源串接，不論何種原因，電源電流突升時，電阻值會立卽增加，維持電流穩定。

【鎮流管】（Ballast tube）

由細鐵絲作成的電阻，放在充有氫氣的燈泡內。當有電流通過時，鐵絲便灼熱起來，其電阻因而發生變化。當其中通過的電流強度稍微增加時，鐵絲電阻卽劇烈地增長，其上的電壓降也就相應地升高。由於這個緣故，當鎮流管與別的導體串聯地接在電路中時，它便將該電路內的全部電壓變化都接收過來，於是不管電路內的電壓有何種變動（在一定

範圍內），它總是使得電路內的電流強度幾乎保持為一定值。鎮流管常用來使電子管燈絲電流保持穩定，以避免電子管過熱。

【雜音】（Noise）

在收音或收視信號中，有時會有嘶嘶的噪聲掩沒信號或畫面模糊不清。此種騷動，就是所謂的雜音。

雜音是以它的振幅、頻率和相的任意波動為其特性。為了將它和振幅、頻率均為常數的信號作一比較，可使用振幅的均方根值（*rms value*），且定義信號對雜音的比值 S 為

$$S = V_s / V_n$$

式中 V_s 表信號電壓的均方根值，V_n 則表雜波的均方根值。

雜音的產生是由於遇到尖銳的脈衝干擾，及由分子電子熱紛擾所造成的干擾，此種干擾即形成雜音。茲分條詳述如下：

1. 電力線的干擾——接收機附近常有電力線，如用於各種電器及輸入電源的電線等。如果電力線中的電壓有任何變更，則電力線路便產生火花或突然中斷，都可以干擾信號而使接收機中產生雜音。其抑制及改善的辦法是檢查電力線的絕緣體有無損壞、電力線接線情形、變壓器的絕緣情形、電線桿上金屬物體的接觸情形等，而立刻設法改善。

2. 螢光燈的干擾——螢光燈的游離作用及不良的起動器，均可以輻射雜波而干擾進入接收機天線的信號。這種干擾亦可經過電力線的傳導而再輻射進入接收機天線。因此對於接收機天線附近的螢光燈，及連接有螢光燈的電力線，應使其與接收機天線的距離儘量拉長。

3. 電焊設備的干擾——電焊設備的強力電弧所發出的輻射電波，具有強力的干擾作用，因此對於電焊設備必須有適當的遮蔽，並且兼用會接、旁路及接地等方法，以遏止其輻射電波的射出而干擾其鄰近的電信電波。電焊設備通常應該裝置於靠近接地處。交流變壓器式的電焊設備，應將變壓器及焊頭電纜加以遮蔽，原輸入引線應加裝適當的電容器

，使其旁路至變壓器遮蔽罩內部，並將變壓器遮蔽罩接地。汽油引擎帶動的直流發電機式的電焊設備，應放置於大小適當的金屬罩內。引擎、發動機及其他機件亦要以連接金屬帶嚴格接地。直流發電機的碳刷，應用適當的電容器以旁路接至機殼。電焊設備所產生的輻射干擾頻率範圍較廣，距離亦較遠，故當干擾發生時，應檢查是否遮蔽不良或連接金屬帶折斷，及旁路電容器是否失效等。

4. 引燃系統的干擾——車輛上的電氣引燃系統若與天線鄰近，則引燃系統的暫態波會對接收機產生干擾作用，但此等干擾在距離500英尺以外即不易察覺。不過在引燃系統損壞時會產生電弧，因此亦須有遮蔽及接地的設備，以減低干擾作用的產生。

5. 繼電器與開關的干擾——繼電器及開關在動作時，載有電流的接觸點上即有電壓的突然變動或電弧現象發生，亦會輻射干擾電波，而使接收機產生雜音。但繼電器及開關的干擾作用比較短暫，若非接觸不良，就不致產生嚴重的干擾雜音。

6. 轉動機件的干擾——轉動的機件內若有滑動性的接觸點，而其滑動表面不平滑；則常因導電碳刷的跳動而產生電弧，或轉動軸與軸承表面之間因油質層而引起靜電放電。這些現象都是干擾的來源。平滑的接觸及平滑的軸比染有汚垢者所引起的電弧及靜電放電現象為少，故干擾的情形也較少。

7. 工業學與醫學設備的干擾——醫療用的X射線或感應發熱體等，利用射頻電能的機件，可成為嚴重的干擾來源。而且這類干擾可直接輻射，或沿電力線及通信線路進行傳導。但因此類干擾可傳送至較遠地區，常不易發覺其來源而抑制其干擾。故必須將此類機器用金屬罩接地、，避免輻射干擾電波。

8. 雷達的干擾——雷達所發射的射頻脈波含有各種頻率之諧波，因為其脈波來復頻率在聲頻範圍內，且載波大多使用微波，其發射功率

極為強大，故在其附近或電波涵蓋區域內的接收機，都會受到干擾。

9.繼續接觸所產生的干擾——任何長度的導線，無論其是否接地，亦可視為某種頻率的有效天線。在一導線上，尤其附有塵埃以後，極容易結集電荷，因此當二金屬導線有斷續接觸的時候，即有暫態靜電放電現象，因此亦產生干擾，而使接收機有雜音產生。

10.地球外圍的干擾——由於大氣中靜電放電所產生的大氣雜音，及太空中天體輻射所產生的宇宙雜音等，都是一般電子設備所常遇到的干擾。這類的雜音只能在接收時使用最狹的頻帶寬度以減低其干擾。

11.收音機的“沙沙”聲——沙沙聲是超外差式收音機特有的雜音，也是屬於內在雜音。因為超外差收音機具有變頻級，在變頻的時候，把振盪頻率和輸入信號相混合，經過第一檢波，構成中間頻率信號，在此過程中常會引起雜音。接用天線、地線，或在變頻級前面加裝調整高放級，改善信號與雜音比，便能避免這種如暴雨一般的沙沙聲。

12.交流聲——當收音機接收信號時，由於電燈線或電力線所輻射的60 赫交流的頻率在整流電路上同時侵入，因而產生一種雜音，稱為交流聲。防止的方法是在電源變壓器的初級二端，接入約 0.005～0.05 μF 的濾波電容器，或在電源變壓器的初級與次級線圈間，用銅皮作靜電隔離。

13.收音機的汽船聲——收音機的成音頻率放大級的柵漏電阻 R_g 極高，或耦合電容器的電容量較大，故放電時間較長，以致放大作用發生間歇性的中斷，這種極低音頻電壓的反饋所引起的振盪現象，會產生“トト”的連續雜音，稱為汽船聲。防止的方法是將電源供給電路的濾波電容器的電容量增加，以減低共通的阻抗；或減少耦合電容量，以衰減低音頻的電壓增益；或將過高的柵漏電阻值減低，這樣就可以防止汽船聲的雜音。

14.嘯叫聲——收音機或擴大機的成音頻率放大級的電壓增益過高

，容易產生成音頻率振盪現象。卽成音頻率放大級的輸出電壓的一部分，經靜電耦合或電磁耦合作用，反饋至屏極輸入電路而引起的現象。這種現象會使揚聲器發出“嘶嘶”或“嗡嗡”的連續聲，俗稱爲嘯叫聲。擴音機的傳聲器離揚聲器太近，也會造成反饋嘯叫聲。實際就是高音頻率（5,000～6,000赫以上）的振盪現象。防止的方法是：

(1)揚聲器連線儘量遠離檢波管，尤須遠離傳聲器。

(2)濾波電容器（尤其是輸出端）的電容量減小或斷線時，立刻換修。

(3)聲頻放大級屏極電路的反耦合電容器（常用 3～8μF ）的容量減小或斷線時，立刻換新。

【雜音抑制器】（Noise limiter）

將強於接收信號之雜音截去之電路。

【雜散光測驗】（Stray-light tests）

在光學儀器中有雜散光線則頗影響其性能，尤其對於物像中產生缺乏對比（反襯）。例如，由望遠鏡之內壁散射及反射光線，在白晝使用此儀器時不能進入眼睛，卽謂當時眼睛之彩簾直徑約爲 3～4 *mm*，但在無光或黑夜中瞳孔或可擴大至 8 *mm* 直徑，則雜散光線往往構成混亂影響，則不能看淸遠方物標，乃由缺乏視場中之對比所致。

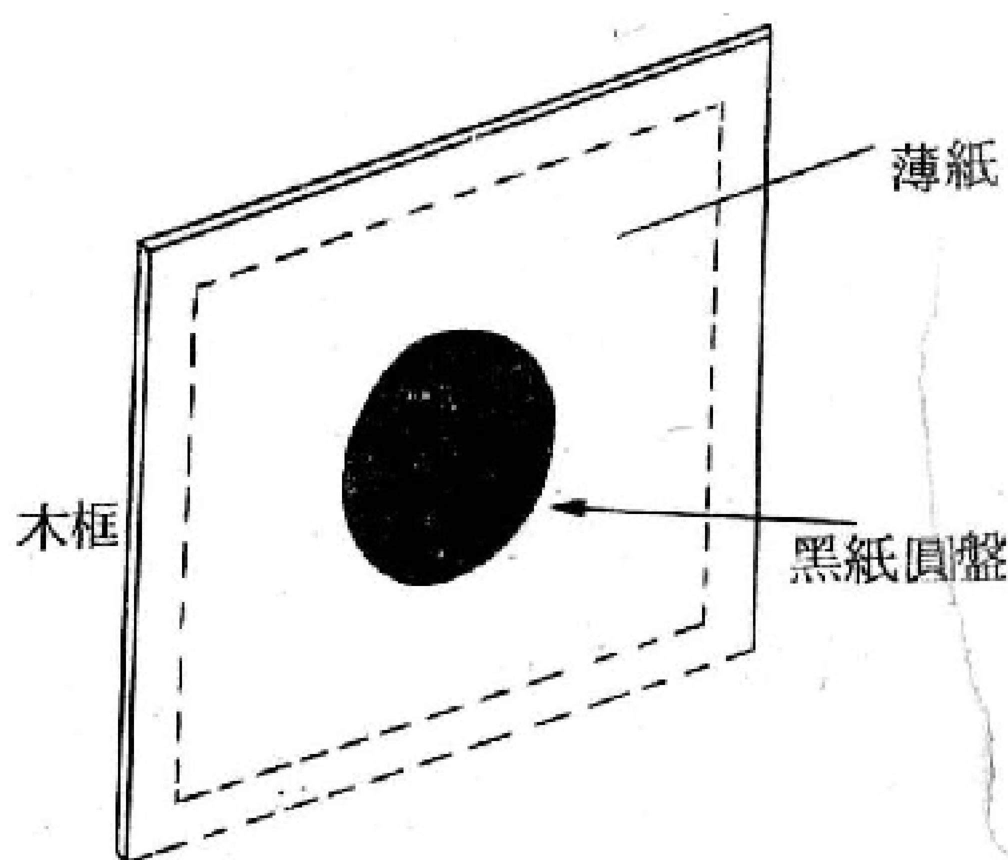


圖 18 — 33

測驗此缺陷之適當方式乃將此望遠鏡朝向擴散照明幕屏，屏上安裝一不透明物質之圓形黑色補綴片（如圖 18 — 33），其與望遠鏡物鏡之距離及其自身之直徑，應使此儀器之出口瞳孔恰在使用一手持放大鏡觀看時“變成黑暗”（*blacked-out*）。任何雜散光線或幻影可由此種出

口瞳孔經此方式觀看而呈現，且可攝取照片。

【雜散場】(Stray field)

如雜散電感，其磁力線分散漏去，無工作表現者。

【雜散電容】(Stray capacity)

如存在兩電路導線間的電容。

【雜質之熱游離】(Thermal ionization of impurity)

在原子外層的電子，束縛能通常甚小，若溫度甚高，熱能就會將原子激發成爲離子態，這種現象稱爲熱游離。在半導體中，加入雜質，如果有多餘的電子，如加在矽、鍺中的磷、砷、銻，它們的電子能階，往往和半導體中空著的傳導電子能階非常接近，因此普通的熱能就可以使許多電子激發而成爲傳導電子，整個物質也就成爲良導體。這也就是電子過剩型（ *N - type* ）半導體的製造原理。

【雜質半導體】(Impurity semiconductor)

不完全由一種原子或化合物所組成之半導體謂之。

【雜質導電性】(Impurity conductivity)

某些種類的雜質或缺陷會影響半導體的整個導電特性，適當的雜質能增加導電性 1,000 倍左右。現只討論矽和鍺的雜質效應，因爲這兩種是最常見，也是了解最清楚的半導體。矽（ *Si* ）、鍺（ *Ge* ）與碳（ *C* ）是同族，因此結晶也是網狀結構。如圖 18 — 34，每一個原子與四個最鄰近的原子形成共價鍵。若一個五價的原子，如磷（ *P* ）、砷（ *As* ）或銻（ *Sb* ）等，代替原來在晶格上的原子時，五個價電子中的四個形成共價鍵，多出一個價電子來，在雜質離子的庫倫電力作用下，構成所謂的類氫原子。由於

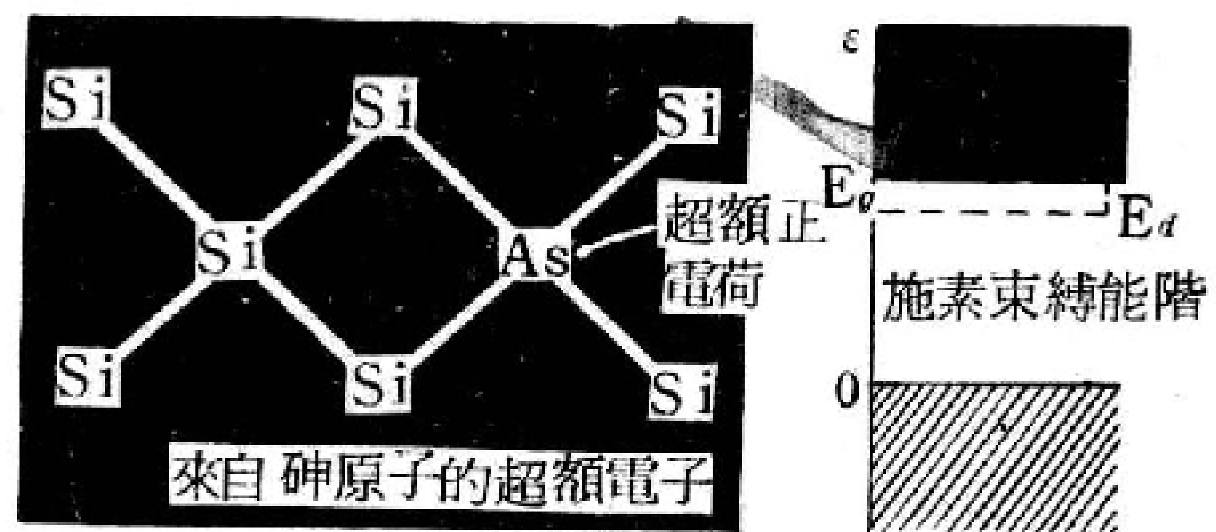


圖 18 — 34 、N型矽半導體

屏蔽效應，電子所感受到的庫倫電位只有 $e/\varepsilon r$，ε 是物體的靜態介質常數。換言之，由於介質電子的極化，使作用力減少 $1/\varepsilon$。這種處理只有在電子軌道大於原子間的距離，以及電子的軌道頻率小於能量間隙頻率 ω_g（即 $E_g = \hbar\omega_g$）時才成立。從波爾的氫原子理論，一個電子在主量子數爲 n 時的能量爲 $-e^4m/2\hbar^2n^2$，由於作用力只有 $e/\varepsilon r$ 且電子是在晶體中運動，故 e^2 以 e^2/ε 代替，m 以有效質量 m^* 代替，則得

$$E_n = \frac{e^4m^*}{2\varepsilon^2\hbar^2n^2} \qquad (1)$$

第 n 階的波爾半徑爲 $n^2\hbar^2/e^2m$，因此在半導體內

$$r_n = \frac{\varepsilon n^2\hbar^2}{e^2m^*} \qquad (2)$$

若爲矽或鍺，有效質量是各向異性的，因此並不像（1）、（2）兩式那樣簡單。但是介質係數對能量的影響遠甚於有效質量，這可由（1）式中 ε 爲二次方，m^* 爲一次方得知。一般作法是採 m^* 的平均值，鍺和矽的有效質量分別爲 $0.1m$ 及 $0.2m$。它們的介質係數分別爲 15.8 及 11.7。所以對鍺而言，$m^*/m\varepsilon^2 = 4\times10^{-4}$，因而需要 $13.6\times4\times10^{-4}\simeq0.006eV$ 的能量使電子游離，13.6 eV 是氫原子的游離能。這種能使電子游離的雜質原子稱爲施素（*donor*）。詳細的游離能計程結果如下表所示：

游離能（eV）

	P	As	Sb
Si	0.045	0.049	0.039
Ge	0.0120	0.0127	0.0096

就如一個五價的雜質原子能製造一個電子的雜質能階一樣，亦可用一個三價的原子例如硼（B）、鋁（Al）、鎵（Ga）或銦（In），

製造一個電洞（ *hole* ）的能階。這種能夠從價能帶提取電子，而留下一電洞的雜質，稱爲受素（ *acceptor* ）。受素和施素的情況在原則上完全相似，所不同的是電洞取代電子的地位。參閱圖 18－34 及圖 18－35。

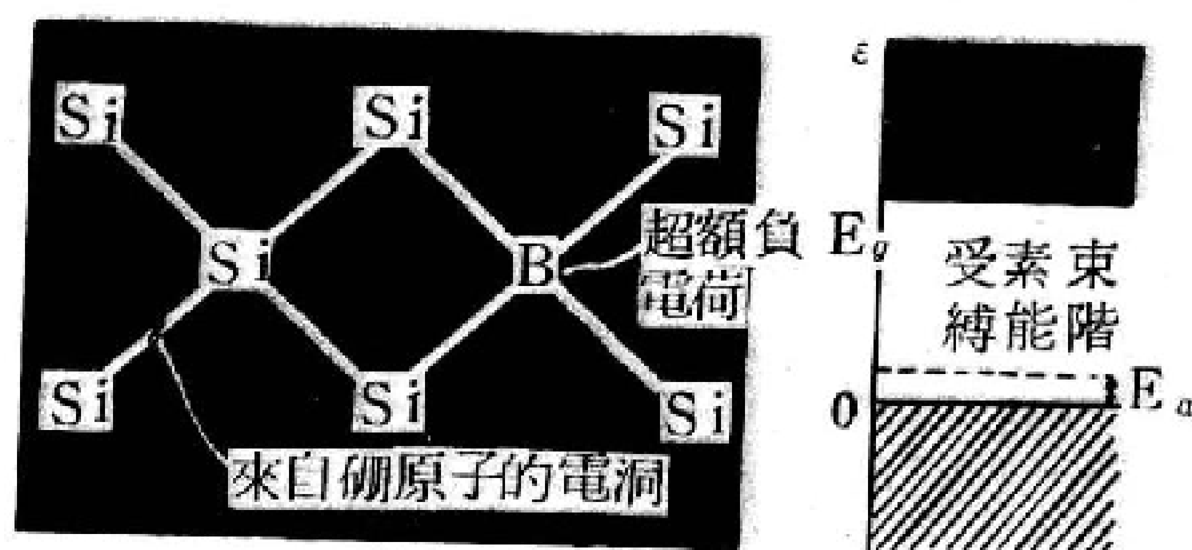


圖 18－35　P型矽半導體

由游離能的表上，可知這種能量和室溫時的 $k_B T$（ 0.026*eV* ）相近，熱運動就是使雜質游離，這些游離的電子或電洞就是雜質導電性的最主要因素。

【雙二極管】（ Duplex diode ; Double diode ）

玻璃或金屬殼內，若置入一對二極管，通常稱爲雙二極管，如6*H*6，83 及 5*Y*3 等，如圖 18－36所示。

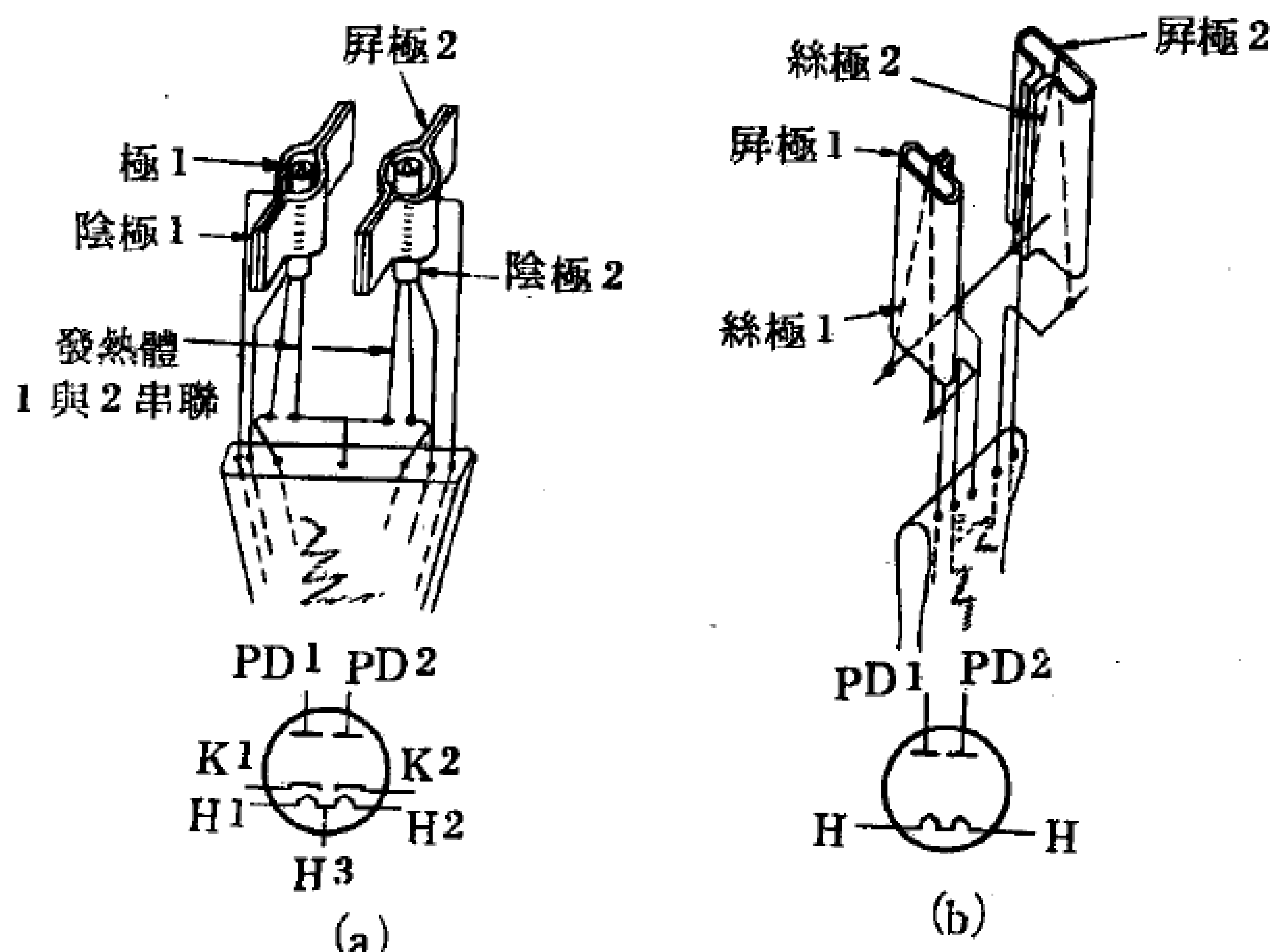


圖 18－36　雙二極管

【雙三極管】（ Duplex triode ; Twin triode ）

爲了使用方便計，有將一對三極管裝於同一管子者，稱爲雙三極管，又稱彎三極管。其內部共有七極，左邊之三極電子管與輸入電路相連，稱爲輸入部分（ *input section* ）。右邊之三極電子管與輸出電路相連，稱爲輸出部分（ *output section* ）。如圖 18－37（見下頁）所示。

【雙工收發】(Break-in operation)

無線電報通訊方式之一，收報者隨時控制或知會發報者。

【雙工制】(Duplex system)

電報臺之一種複式工作制度。

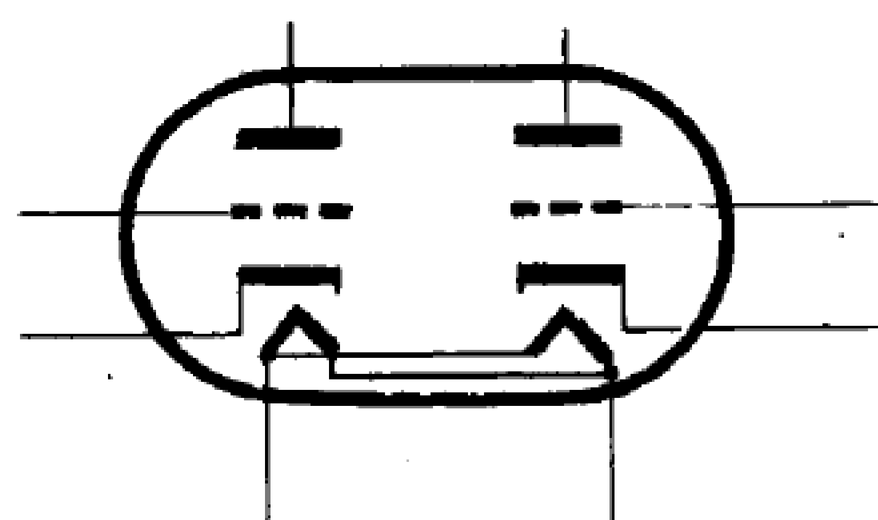


圖 18 — 37　雙三極管

【雙工無線電通訊】(Duplex operation)

是一種雙向無線電通訊。在通訊時，兩個地方都可以同時進行發送和接收的工作。

【雙子星計劃】(The plan of Gemini)

美國太空發展階段的一個計劃，利用在水星計劃中所得的經驗和技術，而更廣濶的獲得了人類對太空及地球以及人在太空中活動情形的知識，於是進而推出雙子星計劃，此計劃的最後一次是雙子星十二號於1966年十一月十五日完成，顯示了太空人可以：(1)操縱自己的太空艙。如果適當的穿戴及裝備後，可以脫離太空艙生存及作必要的工作。(2)使太空艙在太空相遇合並相互連接。(3)在兩星期的長期太空飛行中仍能保持身體健康情況。(4)控制太空艙由軌道進入大氣層並降落於預先選擇的地點。

在雙子星計劃中，人類完成了許多對主宰太空有決定性的技術。它的成功不僅如此，一些在雙子星飛行中所進行的試驗更獲有科學上的、技術上的和工程上的資料，這些資料之獲得更對整體的開拓太空知識有不可限量的重要。例如在雙子星太空船中所攝取得地球圖片及其被雲層遮蓋的圖片供給了海洋學家、氣象學家及地理學家們極豐富的資料。研究那些在雙子星飛行前、飛行中及飛行後所取得於太空人身體的資料，也推進了醫學上的知識。

由製造及使用水星號太空艙而獲得之經驗改進了雙子星太空艙，所

以此雙人用的雙子星太空艙之外型與水星太空艙外型極爲相似，同時採用保護因進入大氣層時所生之高熱之系統也相似。雙子星太空艙之較大端爲 10 呎寬，18呎 6 吋長，約重 7,000 磅。水星太空艙之較大端爲 6呎寬，9呎6吋長，約重 3,000 磅。雙子星艙內空間比水星艙大 50％。

最重要的不僅是大小之不同，而是雙子星太空艙中所安裝的更進步的儀器及控制系統。此系統包括有一個雷達及電子計算機，用以在軌道中計算相遇合的各項因素及能正確降落在預先選定的區域中，另有一組軌道方位和操作系統用以操作雙子星軌道，其太空艙之電能係經由燃料電池將氫和氧轉變成電能而供應，雙子星太空艙有窗兩個（水星太空艙只有一個窗），各種系統之安裝排列都適合對它們的保養、檢查和裝換等工作。至於用於緊急情況下之噴射坐椅則與那些軍用飛機所用者相類似。

雙子星太空艙之結構共分回返地球（*re-entry module*）及接合（*adopter module*）兩部分，回返地球部分有 11 呎長，最寬處爲 7呎 6吋，此部分又可細分爲：

1. 軌道遇合及收回部分（圓椎形的鼻尖部），其中包括有雷達系統及降落傘登陸系統。

2. 回返地球控制部分，其中裝有噴氣引擎在需要時用以控制雙子星之降落地球。

3. 人員艙室，此部分保持了適合太空人生活之環境，儲藏太空人所需的裝備、食物及其他供應品，另有儀器表盤以便太空人控制及操作飛行。

接合部分長約7呎 6 吋，寬約 10 呎，也可細分爲兩部：

1. 儀器部分，其中包括有軌道方位及操作系統、推進劑箱及有關之電子設備。

2.減緩火箭部分，其中裝有火箭引擎系統用以減緩太空艙之速度因而使太空艙返回地球。

回返地球部分，將與太空人降落地球，其接合部分中之儀器部分，於減緩火箭工作前即被丟棄，而減緩火箭部分，當減緩火箭工作完畢後亦被遺落於軌道中。

【雙目標反應器】(Dual purpose reactor)

被設計來作兩種用途的反應器，如用以發電和生產新可裂材料的反應器是。

【雙耳聽覺效應】(Binaural hearing effect)

即由聲振盪作用於雙耳而產生的一種感覺聲音的特性。聲振盪只有在從聲源到耳朵所經的路程相等的情況下才能同時加到雙耳，亦即聲源位於雙耳的對稱平面（通過雙耳連線的中點，並垂直於該線的平面）內。

若在別的情況下，聲振盪達到雙耳的時間就有差別。對稱平面與聲源方向之間的夾角愈大，此差別也就愈大。正由於聲振盪作用於雙耳的時間有這種差別，所以能夠辨別聲源所在的方向。

【雙向無線電通訊】(Two-way radio communication)

通訊時兩個地方都可以進行發射和接收的工作。

參閱“雙工無線電通訊（*Duplex operation*）”條。

【雙曲面】(Hyperboloid)

方程式

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 = 1$$

其中A，B，C任二者為正而其一為負時，及其一為正而他二者為負時，則可各取下列形式

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \qquad (1)$$

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1 \qquad (2)$$

（1）及（2）對於坐標面，坐標軸及原點均爲對稱。

令 $y=0$，$z=0$

時，則得

$$x=\pm a$$

故 x 軸與（1）及（2）交於點（a，0，0）及（$-a$，0，0）

同樣，y 軸在點（0，b，0）及（0，$-b$，0）與（1）相交，而與（2）不相交。z 軸與（1）及（2）均不相交。

令 $z=0$

則由（1）得

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$$

又由（2）得

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=1$$

故 xy 面與（1）之交線爲橢圓，而與（2）之交線爲雙曲線。

同樣，yz 面在雙曲線

$$\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

與（1）相交而與（2）不相交。又 zx 面在雙曲線

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

與（1）及（2）均相交。

於（1）令 $z=k$

則
$$\frac{x^2}{\left(a\sqrt{1+\frac{k^2}{c^2}}\right)^2}+\frac{y^2}{\left(b\sqrt{1+\frac{k^2}{c^2}}\right)^2}=1$$

故平面　　　　$z = k$

與（１）之交線為橢圓而｜k｜由０增大，因而其軸之長亦益增大。

又令　　　　$y = kx$

則得

$$\left(\frac{1}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}\right)x^2-\frac{z^2}{c^2}=1$$

故含 z 軸之平面與（１）之交線為雙曲線。

於（２）令　　$x = k$

則

$$\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{c^2}=\frac{k^2}{a^2}-1$$

故平面

$$x = k$$

與（２）之交線在

$$|k| > a$$

為橢圓。若

$$|k| = a$$

則為點（a，０，０）及（$-a$，０，０），又

$$|k| < a$$

平面與（２）不相交。

又令　　$z = ky$

則得

$$\frac{x^2}{a^2}-\left(\frac{1}{b^2}+\frac{k^2}{c^2}\right)y^2=1$$

故含於 x 軸之平面與（２）之交線為雙曲線。

依上述性質，方程式（１）及（２）所表之曲面為一張雙曲面及二張雙曲面。

在（１）　　　$a = b$

又在（2）　$b=c$

時，則各得次式

$$\frac{x^2+y^2}{a^2}-\frac{z^2}{c^2}=1 \qquad (3)$$

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2+z^2}{b^2}=1 \qquad (4)$$

（3）爲以 z 軸爲軸使旋轉

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

所得之曲面，而（4）爲以 x 軸爲軸使旋轉

$$\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}=1$$

所得之曲面。

一張雙曲面方程式

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}-\frac{z^2}{c^2}=1$$

得依二方程式

$$\frac{x}{a}+\frac{z}{c}=k\left(1+\frac{y}{b}\right)$$

$$\frac{x}{a}-\frac{z}{c}=\frac{1}{k}\left(1-\frac{y}{b}\right)$$

消去 k 之結果而考之，卽此二平面交線上之點之坐標適合雙曲線方程式，故此交線之直線均全在雙曲面上。

同樣，二平面

$$\frac{x}{a}+\frac{z}{c}=k\left(1-\frac{y}{b}\right)$$

$$\frac{x}{a}-\frac{z}{c}=\frac{1}{k}\left(1+\frac{y}{b}\right)$$

之交線亦全在雙曲面上，故一張雙曲面含有二種直線群。

依如此直線運動而生之曲面，總稱為線織面。

雙曲面之切面方程式在（1）及（2）上之點（x', y', z'）之切面

$$\pm \frac{x'x}{a^2} + \frac{y'y}{b^2} - \frac{z'z}{c^2} = 1$$

同上之法線方程式為

$$\pm a^2 \left(\frac{x}{x'} - 1\right) = b^2 \left(\frac{y}{y'} - 1\right)$$

$$= - c^2 \left(\frac{z'}{z} - 1\right)$$

又在雙曲面一般方程式

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 = D$$

上之點（x', y', z'）之切線為

$$\begin{cases} \dfrac{x - x'}{l} = \dfrac{y - y'}{m} = \dfrac{z - z'}{n} \\ Alx' + Bmy' + Cnz' = 0 \end{cases}$$

【雙曲線函數】（Hyperbolic function）

超越函數之一。設O為直角雙曲線之中心，a為半徑。若一點自此雙曲線之一分支之頂點A，沿曲線運動，而P為其任意之一點。設S為雙曲線扇形AOP之面積，而設

$$u = 2S/a^2$$

換言之，即設u為扇形AOP之平方單位（以半徑為對角線之正方形）之數。取與橫徑OA正交之直線OY，又設

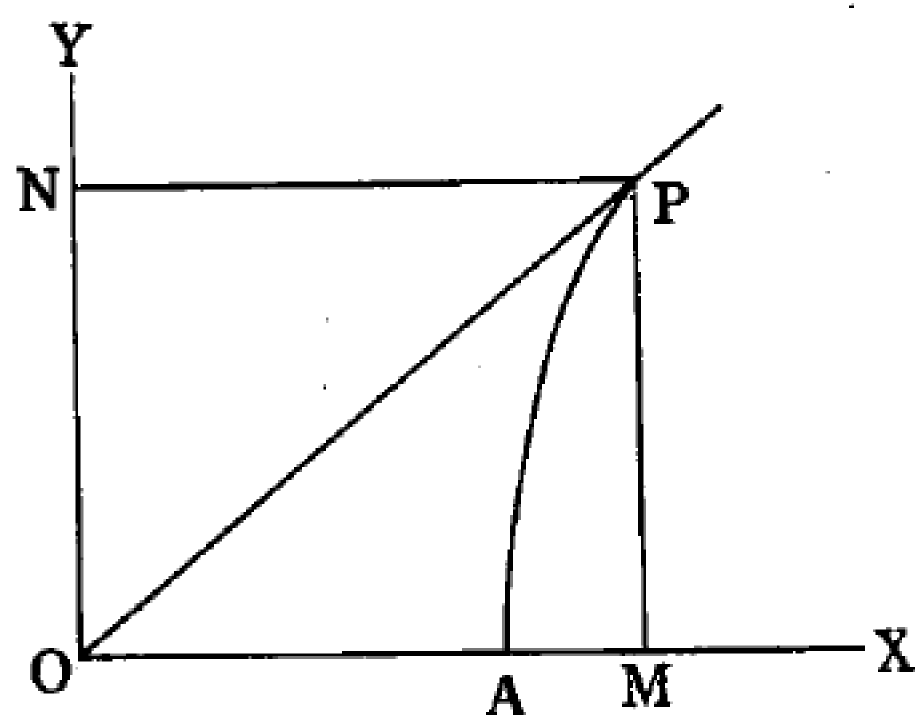


圖 18—38

OM，ON為OP在OX，OY上之正射影，則下述之六比，各予以特有之名稱如下：

$OM : OA$　　爲 u 之雙曲線餘弦

$ON : OA$　　爲 u 之雙曲線正弦

$ON : OM$　　爲 u 之雙曲線正切

$OA : OM$　　爲 u 之雙曲線正割

$OA : ON$　　爲 u 之雙曲線餘割

$OM : ON$　　爲 u 之雙曲線餘切

而是等一一以 $\cosh u$, $\sinh u$, $\tanh u$, $\text{sech}\, u$, $\text{csch}\, u$, $\coth u$ 等記之，稱之爲雙曲線函數。

【雙共振】(Double resonance)

雙共振又稱電子原子核雙共振（ *the electron nuclear double resonances* ），簡稱*ENDOR*。雙共振討論電子與原子核同時共振的情形，主要用以研究四極交互作用（ *quadrupole interaction* ）。

【雙合透鏡】(Doublet lens)

光學上由二透鏡組合而成的透鏡，例如消像差透鏡。

【雙折射】(Double refraction)

一束垂直於器面的光線投射於方解石等晶體後，則見其光束分爲兩條（依其電場的方向不同），其中一束照折射定律，卽入射角與折射角二者之正弦之比恆一定，且入射光線與折射光線均在入射面內，如圖18－39中 *o* 所示，此光線謂之尋常光線（ *ordinary ray*）。另一條之折射光線卻不服從折射定律，入射角與折射角二者正弦之比恆不一定。視入射角之大小而異，且折射光線恆不在入射平面內，如圖18－39之 *e*，此光線

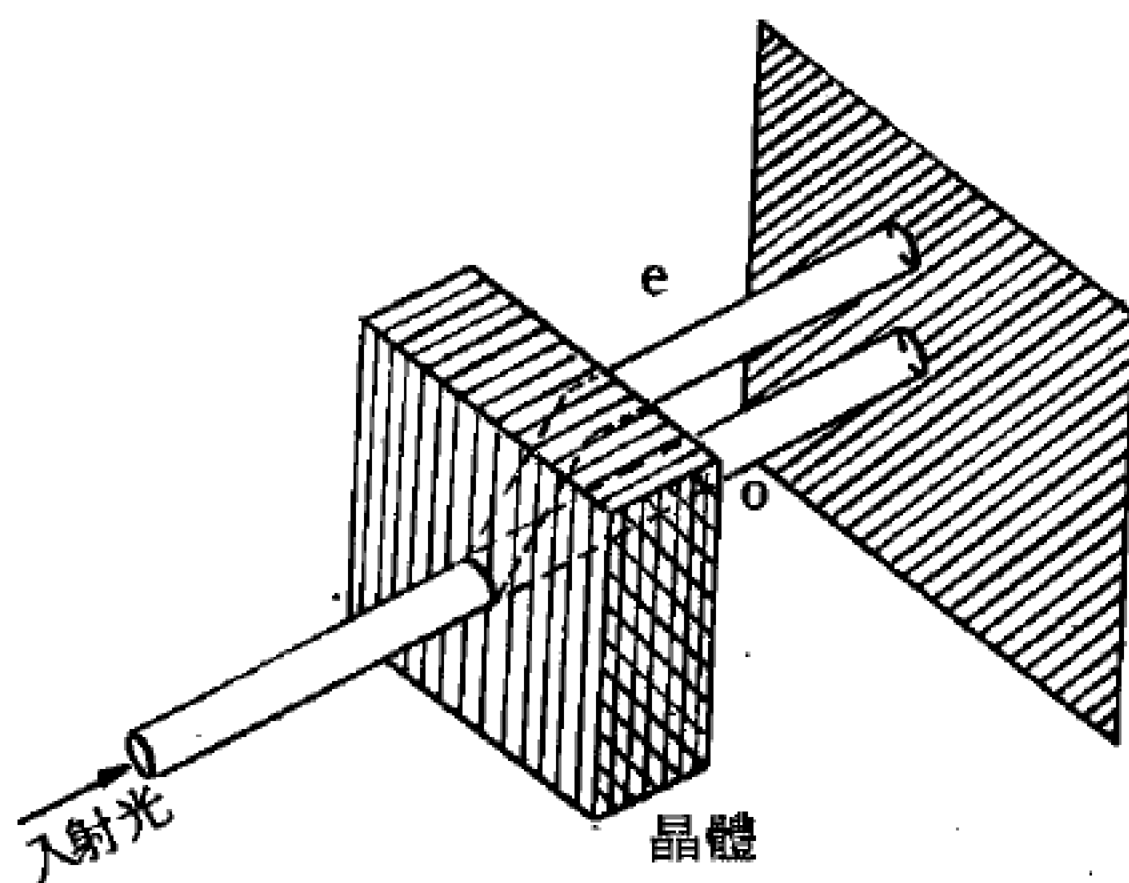
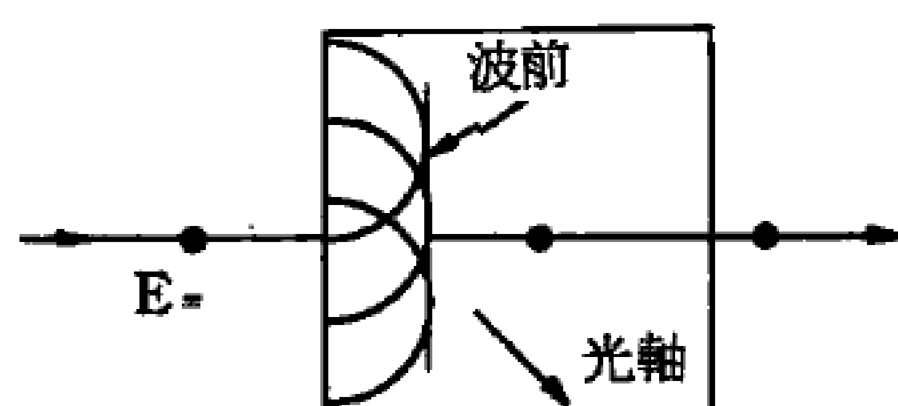


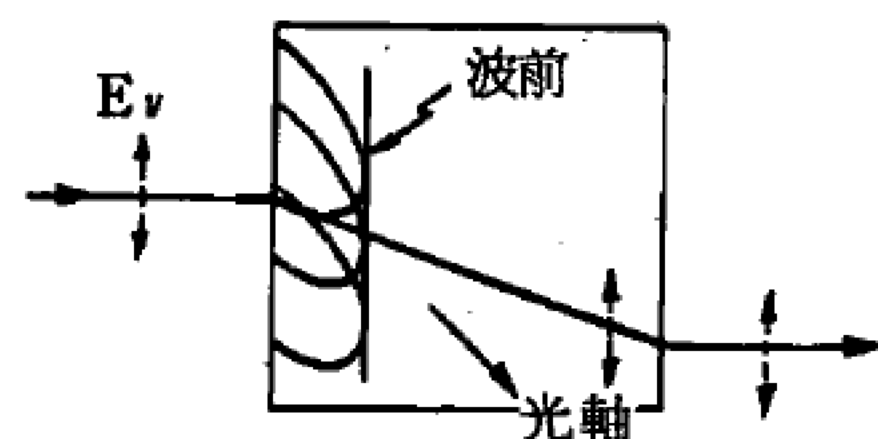
圖 18 — 39　雙折射現象

謂之非常光線（ *extra-ordinary ray* ）。如此一條入射光線，折射復分爲二條折射光線之現象，謂之雙折射。雙折射的現象是貝薩里諾（*Erasmus Batholinus*）於1669年所發現的。石英、雲母、方解石等物質都具有雙折射的特性。

利用惠更斯原理可以圓滿地解釋發生雙折射的原因，在圖18—40(*a*)中，電場E_x 是與光軸垂直的（E_x是在垂直書面的方向），因此這束光線是照著垂直於光軸的應有速度前進的，也就是它的波前的前進就是平常的樣子。(*b*)圖中因爲電場E_y 的方向既不垂直於光軸，又不平行於光軸，如果我們假設這晶體的特性是垂直於光軸的速度（$v_\perp$），較平行於光軸的速度（$v_\parallel$）大的話（即圖中的情形），則此E_y分解爲垂直於光軸的偏振狀態，和平行於光軸的偏振狀態，而前一個的速度是$v_\perp$，後一個的速度是$v_\parallel$，因此，造成這束光線的波前就不再是球狀散開，而形成橢圓球狀了，顯然這條光線是不會符合折射定律的（不過無論是垂直於光軸的偏振狀態，或是平行於光軸的偏振狀態分別都符合折射定律），故稱之爲非常光線。



(a) 尋常光線經過一雙折射物質的情形



(b)非常光線經過一雙折射物質的情形

圖18—40

這種折射性質，就可以把入射光分成兩束光線，且有不同而互相垂直的偏振狀態，因此適當地選擇入射光的偏振狀態，可以得到只有直接通過去的光，或者是只有被位移的光。

下表列出了一些具有雙折射率物質的兩個折射率，n_0 表偏振狀態與光軸垂直的光線的折射率，而n_e 表示偏振與光軸平行的光線的折射率。

一些常用雙折射率物質的折射率

物質	n_e	n_o	物質	n_e	n_o
石英	1.553	1.544	冰	1.307	1.30
方解石	1.486	1.658			

【雙折射物質】(Birefringent materials)

當二折射線對應於一單獨入射線時，此種異向性的物質就稱爲雙折射率物質。這種物質的異向性是由於分子的偏向造成的，而此偏向係受應力或靜電場作用的結果。因爲假若構成晶體的成分分子、長度和寬度不一樣，那麼這種晶體對兩種不同電場方向的電磁波就會有不同的折射率，也就是在晶體中有不同的速率，而產生分子的偏向。

參閱“雙折射(*Double refraction*)”條。

【雙星】(Binaries ; Double star)

非常接近的兩個恆星，叫做雙星。雙星大致可以細分爲三群：

1. 目視雙星——可以用目視觀測或在照相底片上分析。最著名的目視雙星是大熊星座(*Ursa Major*)的開陽(*Mizar*)和輔(*Alcor*)。二十世紀最著名的目視雙星的發現者是布恩哈(*S.W. Burnham*)，他一共發現了1,340顆新的目視雙星。

2. 蝕雙星——當其一伴星之軌道面接近，沿視線方向而爲另一星所掩蔽時，即在亮度上發生週期性變化。此種光度變化可以用亮星由一暗伴星的蝕像來解析，兩者彼此互繞於一軌道內，此軌道面幾與天球平面垂直。在1900年大約有20顆蝕雙星爲人們測知。

3. 分光雙星——可從它們的譜線在都卜勒位移的週期性變化上檢查出來。1900年已知道的分光雙星已超過50個，因爲本世紀初每顆恆星在視線、速度、方向有週期性變化的都被納入雙星這一類。最後認識了顯然單線分光雙星的視線速度變化，實在都是由恆星的脈動產生。

【雙重性】(Duality)

詳閱“二象性（*Duality*）”條。

【雙重電信法】（Double telegraph）

用一條電線，可同時兼發信收信之裝置。如圖18—41所示，L為繼電器，與普通所用者不同，其電磁鐵之周圍，捲二條相同的導線，令甚相接近而方向相反。如點線及實線，R_1及R_2爲電阻器，其電阻之大小，可任意變易。設有電流從與此同法裝置之乙局，經導線G流來。由繼電器L之實線至A，於此處電流分爲二部，一部由BR_1CD入地中板H，一部回於繼電器之點線，經R_2流入地中板H。此時流入繼電器之電流，因二導線之方向相反，故在繼電器內成同方向，故繼電器之感應，更爲敏銳。從甲局向乙局發信時，按發信機M，則從電池P發出之電流，於A分爲二途，其一部分從甲局A通過繼電器之實線部，經電線通過乙局之繼電器，至乙局之A處，再經乙局之BR_1CD，入地中板H，經地中板回於甲局之電池P，他一部分由甲局之繼電器之點線部，經R_2直接回於電池P，此二電流在甲局之繼電器內時，方向相反，故加減電路內之電阻，合二者之強度相等，則甲局之繼電器，毫不感應，僅乙局之繼電器感應，故按甲局之發信機M時，本局不至受信，而可傳信於乙局。若兩局同時發信，就甲局言之，從乙局流來之電流，不能流入於甲局之AR_1C部，而流入於ALR_2間，故受信與發信可同時，而不相妨礙。

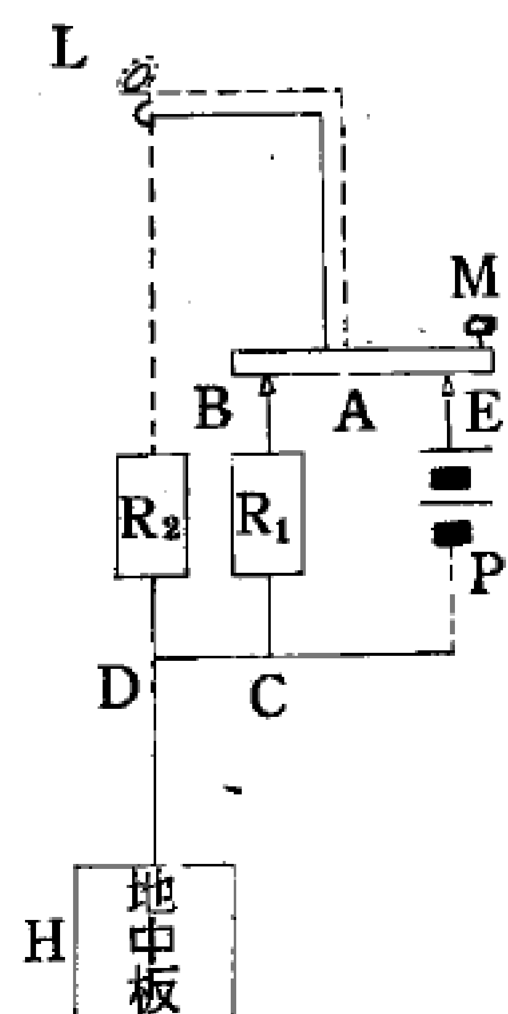


圖 18—41

【雙原子分子之振動模式】（Modes of vibration of diatomic molecules）

欲論雙原子分子的振動，我們首先假設原子是一質點，兩原子（質點）之間的相互作用力隨兩原子間的距離r而改變。如將兩原子間的作

用力以位能V表示，則位能V也是r的函數；同時當$r\rightarrow\infty$時，位能V即趨近於零。其關係如圖 18－42　所示。圖中另一曲線F，則爲兩原子間的作用力。當$r=r_0$時，V爲極小值V_0，而作用力F爲零。當$r<r_0$，兩原子間的作用力爲排斥力，同時此排斥力隨r值之遞減而迅速增加。根據古典理論，在這種力場中，原子在相距r_0處，位於平衡狀態，如受到干擾，於是平衡破壞，這系統即對平衡點產生振動；此系統的振動動能超過$-V_0$　，則這兩個原子即會飛散，不再成爲分子態。

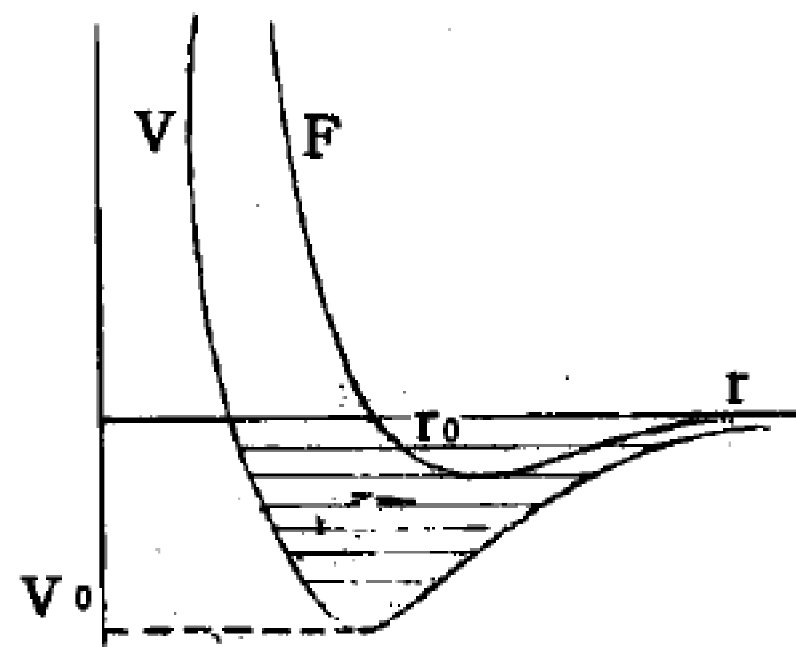


圖 18－42
雙原子分子的位能曲線

根據量子力學的理論，兩原子的相對位置，所對應的位能應爲一組離散值，即所謂量子態；這些能態即圖中的平行線。最低的量子態所對應的能量應稍大於V_0；換句話說，即使在最低能態，此系統還是具有動能；此動能與諧振體的零點位能$h\nu/2$相似。由此可知這種雙原子分子的原子間距離尚不十分確定，但最可能的值約在r_0附近。如以n表示量子態的數目，則它們對應的能階即爲ω_n，而$\omega_n<0$爲負值，因爲當$\omega_n=0$時表示此分子中的兩原子相距無限遠。

將V用泰勒級數對$r=r_0$展開，利用$(dV/dr)_{r=r_0}=0$的條件，則可得

$$V=V_0+\frac{1}{2}\left(\frac{d^2V}{dr^2}\right)_{r=r_0}(r-r_0)^2+\frac{1}{6}\left(\frac{d^3V}{dr^3}\right)_{r=r_0}(r-r_0)^3+\cdots$$

如取近似值，略去高次項，即得

$$V=V_0+\frac{1}{2}\left(\frac{d^2V}{dr^2}\right)_{r=r_0}(r-r_0)^2$$

由上式看來，雙原子分子的位能函數與諧振體（*harmonic oscillator*）的位能函數相類，因此我們認爲由雙原子組成的分子，其振動模式是

屬於諧振類的。

【雙原子分子之轉動】(Rotation of diatomic molecules)

當雙原子氣體分子的振動帶第一次用鑑別力較差的分光計來觀察時，始終有雙峯現象出現如圖 18 — 43 (*a*)所示。當能譜學技術改進以後，就發現有更精細的峯形存在如圖 18 — 43 (*b*)、(*c*)所示。後來才確定，這種現象乃是由於分子轉動所造成的。其實在分子運動論中，為了解釋多原子氣體分子多餘的比熱，早就假設分子有轉動的現象。

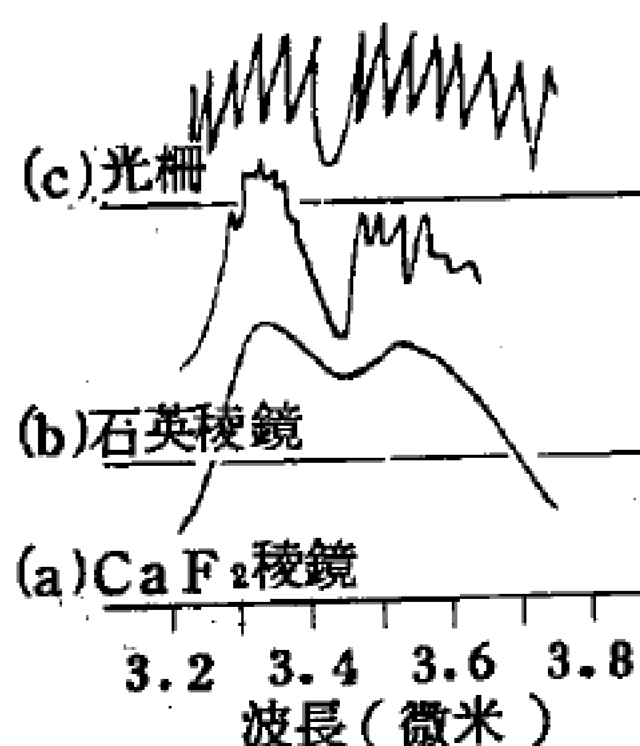


圖 18 — 43
用不同鑑別力的分光計所記錄下來氯化氫(HC*l*)振動-轉動帶的。

用一種簡化的方法，我們可以把雙原子分子想像為一個細小的啞鈴，繞著一個與其柄垂直的軸旋轉，並且這個柄假設是完全剛直的。此分子的轉動慣量為 $I = mr_0^2$ ，式中 m 為兩原子的約化質量(*reduced mass*)，r_0 為其間的距離。當轉動角速度為 ω_r 時，用古典方法所得到的分子動能為 $E_r = \frac{1}{2} I \omega_r^2$ ，也就是轉動能量可為任意值，視 ω_r 大小而定。但是如果寫出分子轉動體的薛丁格方程式，並找出其解時，就可以發現轉動分子的動能只能具有某些不連續的值，這些值為

$$E_r = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1) \qquad (1)$$

式中 $J = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots\cdots$ 為轉動量子數。沒有零點轉動能量存在。只有當 $\Delta E = h\nu_r$ 時，分子能接受或放出轉動能量，視 J 的改變為 $+1$ 或 -1 而定。轉動遷移的選擇定則為 $\triangle J = 0$ 或 $\triangle J = \pm 1$。由 (1) 式中，可求出最低量子能階的轉動頻率為 $\nu_r = h / 4\pi^2 I$ ，這是相當低的，所以在紅外線中不能被直接觀察到。雙原子氣體分子的純粹轉動能譜在微波區域中可觀察到。

圖 18 — 43所顯示的複合帶，是在氣體中看到的典型的振動 - 轉動帶。分子一面振動，一面轉動，這兩種運動結合在一起，就如同兩個相銜接的單擺的運動情況。並且在這種情況下，會有拍音產生，其頻率爲 $\nu_{vib}+\nu_r$ 。因爲 ν_r 比 ν_{vib} 小很多，所以在帶中央之兩側有許多靠得很緊密的轉動線條伴隨著基本頻率。用量子力學的形式，這種情況可用分子的振動 - 轉動能量表示法來描述：

$$E_{\nu r}=(v+\frac{1}{2})h\nu+\frac{h^2}{8\pi^2 I}J(J+1)$$

式中 v 代表能階數。在最低能階時，$v_0=0$ 依次 $v_1=1, v_2=2,\cdots\cdots$ 等。由於轉動及振動能量同時改變所造成的兩能階間之躍遷：

$$E_2-E_1=\Delta E_{\nu r}$$

$$E_{\nu r}=(v_2-v_1)h\nu+\frac{h^2}{8\pi^2 I}[J_2(J_2+1)-J_1(J_1+1)]$$

就基本帶而言 $v_2-v_1=1$，且因爲 $J_2=J_1-1$，上式可被寫成：

$$\Delta E_{\nu r}=h\nu+\frac{h^2}{4\pi^2 I}J_1$$

式中 $J_1=\pm 1, \pm 2, \pm 3, \cdots\cdots$

從研究轉動和振動 - 轉動能譜，可以直接估計出雙原子分子的原子間距離。由觀察能譜而決定 E_r 或 $\Delta E_{\nu r}$ 以後，即可得出轉動慣量 I；又因爲原子質量 m_1 及 m_2 爲已知，且 $I_0=mr_0{}^2$，所以 r_0 的大小可算出來，在氯化氫分子的例子中，r_0 爲 1.27 Å；在其他的雙原子分子中，r_0 亦爲同樣數量級之數。

【雙紗包線】(D.C.C. wire)

絕緣程度較高的導線。

【雙狹縫之干涉】(Interference of double-slit)

干涉現象是波動的一個最重要的特徵。因此，反過來如欲知某種物理過程或量是否有波動的本質，可以它們是否會產生干涉現象來判斷。

關於光的本質在整個物理的發展史中，有過非常多的揣測。主要分成兩大派，一派主張粒子說；一派主張波動說。由於牛頓在力學上的成就，加以他所倡導的粒子說確能解釋光的直線進行、反射、折射等現象，粒子說在十七、十八世紀幾乎已確立了光的本質。直到西元1801 年，由於楊格（*Thomas Young*）著名的楊格實驗（*Young's experiment*），才給波動說帶來了重生的希望與穩固的實驗基礎。

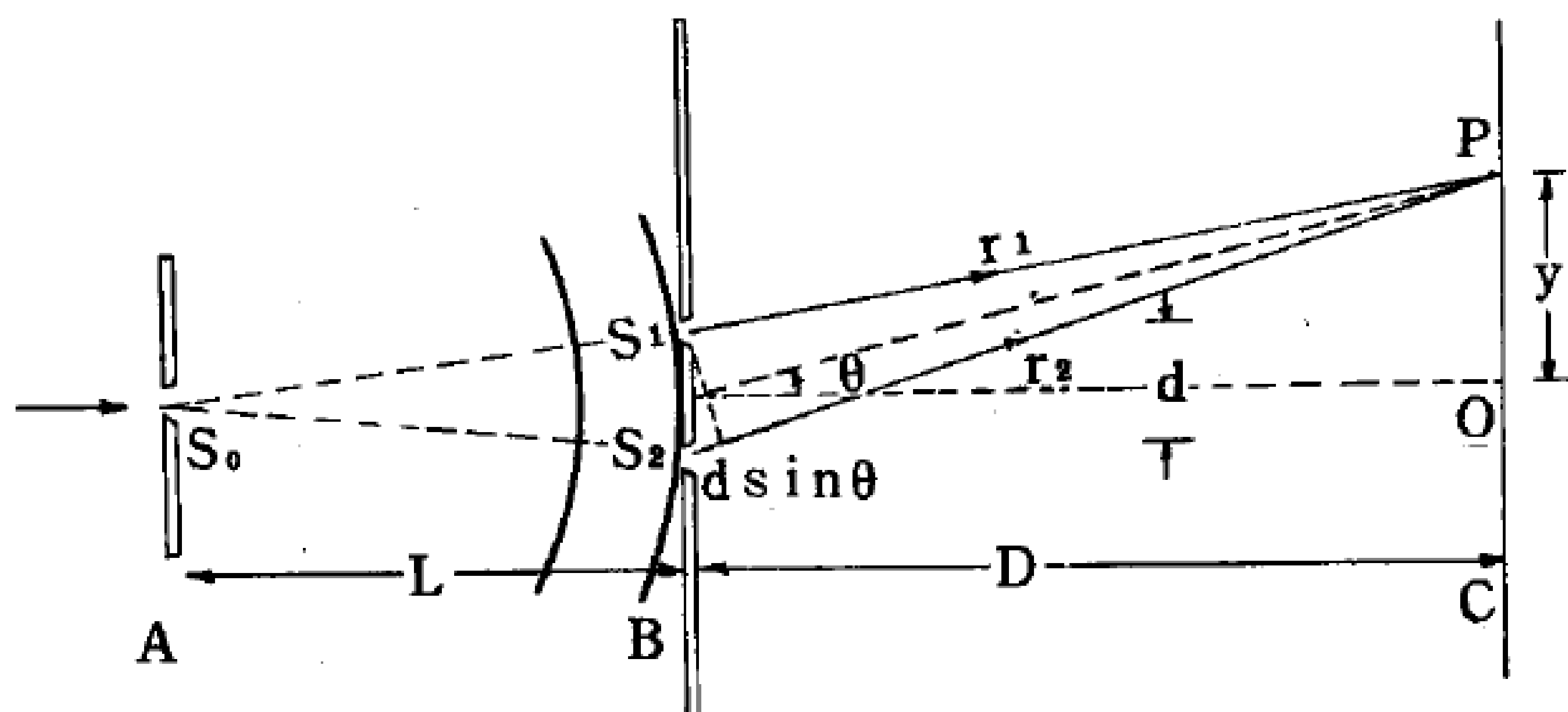
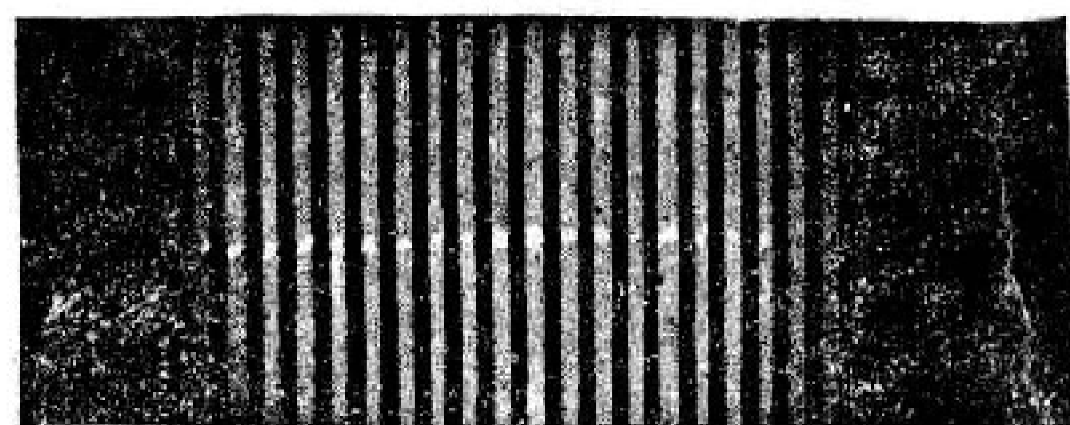


圖18—44　雙狹縫的干涉

楊格實驗的安排大致如圖 18—44所示。光線自左照射在A屏上的小孔S_0上。B屏上的兩個小孔S_1，S_2和S_0的距離相等。自S_1和S_2射出來的光在B屏後，起干涉作用。置一屏C在這一區域內。通常使$D \gg d$（D是C屏至B屏的距離，d是S_1，S_2兩小孔的距離）。楊格在這屏上看到了干涉圖樣。


圖18—45
雙狹縫干涉條紋的實例

為了得到較清晰的干涉圖樣，一般多用細裂縫來代替小孔。圖18—45是單色光源經雙狹縫後的干涉條紋圖片。由於自S_1和S_2射出的光是有完全的相干性的，又因$S_0S_1=S_0S_2$，這兩個光從S_1和S_2射出時的相位是相等的。如果光源是單色光源，則在C屏上得到極大干涉強度的條件是光程差剛好為波長的整數倍，即

$$r_2-r_1=d\sin\theta=m\lambda \qquad m=0,\pm1,\pm2,\cdots\cdots \qquad (1)$$

換句話說，對某一色的光源（λ一定），在C屏上要看到像圖18—45

中的亮線，其觀測角θ（如圖 18－44），應適合（1）式的條件。$m=0$，代表在C屏的中點O，得一中央極大強度，其餘的極大強度干涉條紋，在O點的上下，對稱地排列著（相對於正負m值）。利用這個式子，楊格第一次量得了各色光的波長。圖 18－45中的亮線，都有一樣的強度，離中點一遠強度就逐漸弱下去。這有三個原因：(1)離中點遠時r_1, r_2都較大了。因此光的強度都比中點的值來得小。(2)當觀測點遠離中點時，S_1和S_2的相干性也逐漸被破壞了。(3)裂縫的本身總有一個寬度。

相反地，在C屏上觀察到極小強度（0）的條件是

$$d \sin\theta = (m+\frac{1}{2})\lambda \qquad m=0, \pm 1, \pm 2, \cdots\cdots$$

因這時兩波源產生了相銷的作用。如果要用C屏上的距離y來代替角度θ，則可利用圖 18－44 中的幾何關係

$$\tan\theta = \frac{y}{D}$$

及小角度的近似關係

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$$

而得極大強度的位置

$$y = m\frac{\lambda D}{d} \qquad m=0, \pm 1, \pm 2, \cdots (maximun)$$

及極小強度的位置

$$y' = (m+\frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d} \qquad m=0, \pm 1, \pm 2, \cdots (minimum)$$

【雙狹縫實驗】（Double-slit experiment）

即楊格干涉實驗。

詳閱“楊格干涉實驗（*Young's interference experiment*）”條。

【雙動引擎】(Double-acting engine)

二衝程動作的效果，也可用四衝程引擎來達成，即是使四衝程動作不僅在活塞之一邊發生，而是在活塞的兩邊進行。同理，將二衝程動作組合，也可作成單衝程引擎（曲柄軸每半周受到一次推動力）。

【雙連電容器】(Dual capacitor)

兩電容器連結同一軸。

【雙循環反應器系統】(Dual-cycle reactor system)

在反應器 - 渦輪系統中，通往渦輪的水蒸氣一部分直接由反應器產生，另一部分則由分離的熱交換器產生，這樣的系統叫雙循環反應器系統，它是合併直接和間接兩個循環系統而成的反應器系統。

【雙晶體檢波器】(Perikon detector)

由紅鋅礦與黃銅礦兩種晶體所作成的檢波器。

【雙極】(Dipole)

雙極又稱偶極。

詳閱“偶極（*Dipole*）”條。

【雙極、電子、離子極化率】(Dipolar, electronic, ionic polarizability)

極化率是雙極矩對局部電場之比。通常原子極化可分為三部分，即電子極化、離子極化和雙極極化。在可見光頻率範圍內，電子極化幾乎就等於全部原子極化。只有在低頻率時，其他的因素才有重要性，因為離子和分子的質量太大，不易對高頻率的振盪有反應。對各向異性的分子，極化率是一張量。

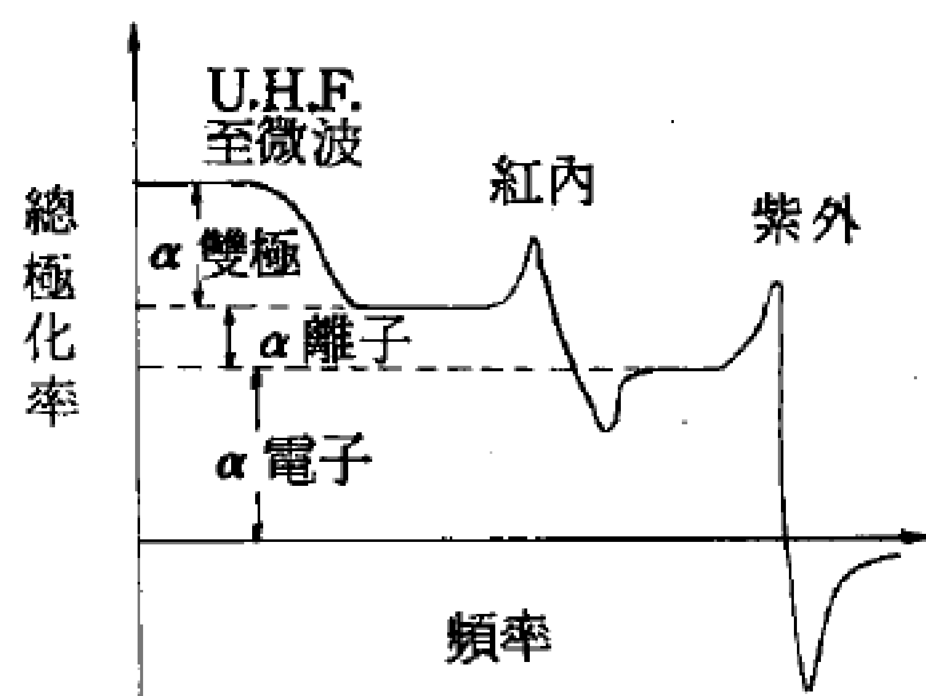


圖 18— 46

雙極極化是由於組成的分子具有永久電雙極矩，當在外加電場下

，這種雙極矩或多或少會改變其方向而產生的。

電子極化是由於原子中電子對原子核位移產生的，也就是由於原子核外的電子殼層變形而產生的。

離子極化是由於帶電離子對其他離子位移及變形所產生的。

各種極化與頻率的關係可由圖 18－46 中顯示。圖中總極化率（實數部分）α 爲各種極化率之和，即

$$\alpha = \alpha_{雙極} + \alpha_{電子} + \alpha_{離子}$$

通常在離子晶體中，雙極極化很小。在高頻率時因離子和分子的質量較大，轉動不易，故極化率很小，因此以實驗方法可以很容易鑑別三種不同的極化情形，對總極化的功效有多少。

【雙極相互作用能】（Dipole-dipole interaction energy）

謂永久雙極 P_1，P_2 在距離爲 r 時的作用能量

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3}\left[\vec{P_1}\cdot\vec{P_2} - \frac{3(\vec{P_1}\cdot\vec{r})(\vec{P_2}\cdot\vec{r})}{r^2}\right]$$

【雙極場】（Dipole field）

即
$$E_r = \frac{p\cos\theta}{2\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$E_\theta = \frac{p\sin\theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$E_p = 0$$

其中 r，θ，p 爲構成球面坐標的三獨立變數。

【雙極矩】（Dipole moment）

又稱偶極矩。可分兩方面說：

1. 電雙極矩——如圖 18－47 所示，一電雙極包含兩電荷 $+q$ 和 $-q$，則其電雙極矩爲

$$\vec{P} = q\vec{d}$$

$\vec{d}$ 爲正電荷相對於負電荷的位移向量。

2.磁雙極矩——如圖 18—48(b)所示，一環形電流，環的大小遠遜於觀察距離，則此系統可視爲一磁雙極。磁雙極矩的大小爲

$$m = i\ A$$

i 爲環電流的大小，A 爲環的面積。磁雙極矩可視爲向量，其方向以右手螺旋定則定之。將面積取爲面積向量 $\vec{A}$，則

(a) 電雙極　(b) 磁雙極

圖 18—47

$$\vec{m} = i\ \vec{A}$$

在電磁系統中，雙極矩可爲永久雙極矩，其雙極矩不因外加電磁場的消失而消失；亦可爲感應雙極矩，如在原子或分子系統中，雙極矩有時係因外界所加的電磁場感應而生成的。

【雙線構造】(Doublet structure)

鹼金屬鋰 (Li) 、鈉 (Na) 、鉀 (K) 、銣 (Rb) 及銫 (Cs) 的光譜中，我們發現其譜線均有劈裂 (*splitting*) 現象。即每條光譜線都是由兩條相間甚微的譜線組成；其間隔隨原子序數的增加而增加，這種譜線稱爲雙線構造。圖 18—48 所示爲鉀原子能階及譜線圖，其基態即 S 項爲單線構造；P 項各能階即分爲二，有 $^2P_{\frac{1}{2}}$ 及 $^2P_{\frac{3}{2}}$ 兩項；其他 D、F 項亦然。

圖 18—48

鹼金屬在滿殼外的電子僅有一個，與氫原子頗爲類似 (一個價電子) ，在基態時 $l = L = 0$，$s = S = \frac{1}{2}$

。故 $J=L+S=\frac{1}{2}$；其光譜項即爲 $^2S_{\frac{1}{2}}$，爲單項。當 $l=L=1$，$s=S=\frac{1}{2}$時，J 之值有二，即 $J=\frac{1}{2}$、$\frac{3}{2}$。在此種情形下，其光譜項有二，即 $^2P_{\frac{1}{2}}$ 及 $^2P_{\frac{3}{2}}$ 。D、F 的情形亦如是。J 值與 L 及 S 值的關係列表如下：

雙項的 J 值

光譜項	L	J
S	0	$\frac{1}{2}$
P	1	$\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$
D	2	$\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$
F	3	$\frac{5}{2}$, $\frac{7}{2}$
G	4	$\frac{7}{2}$, $\frac{9}{2}$

根據選擇定則 $\triangle L=\pm 1$，可知鹼金屬的譜線有下列的系列，即主線系（$1S-mP$）、銳線系（*sharp series*）（$2P-mS$）、漫線系（*diffuse series*）（$2P-mD$）等，而 P、D、F 諸項爲雙項，故其光譜線形成雙線結構。

【雙線繞法】（**Bifilar winding**）

將全長對摺爲二的導線。在這種導線流通著同一個電流，不過其方向是相反的。在導線兩部分的周圍建立著方向相反的磁場，它們互相削弱。由於這個緣故，在流通著電流的雙線的周圍，因爲磁場相等而相反，結果相當於沒有磁場，所以雙線的電感非常小。在需要獲得無電感的大電阻時，便採用雙線線圈。例如在電阻箱內測量儀器的附加電阻內便

是如此。

【雙調諧電路】(Double-tuned circuit)

兩調諧電路對共振頻率作同一的響應，而彼此耦合者。普通中放級多採用之。

【雙鍵】(Double bond)

二原子共用兩對電子，所形成之非極性的價鍵。這種鍵亦可以二原子間以一對電子形成一 σ 鍵，並以另一對電子形成 π 鍵而表示之。

【額定瓦特數】(Wattage rating)

電力規定量。

【額定值】(Rated value)

電子管工作時各電極之工作電壓等均有額定值。

【額定電流】(Rated current)

也叫做安全電流。電線、電器等可以通過之最大電流叫做安全電流。如果通過之電流比這個值大，則因電線發熱，十分危險。

【額定輸出】(Rated output)

在正常情況下，某機件能供應的電力。

【顏色】(Colour)

眼睛對光所產生的不同感覺稱爲顏色。視電磁波之頻率(或波長)而定，一個有一定波長或頻率的電磁波亦稱爲一單色波(*monochromatic wave*)，下表所示爲一般人所見之範圍。

顏色	λ (米)	ν (赫)
紫	$3.90 \sim 4.55 \times 10^{-7}$	$7.69 \sim 6.59 \times 10^{14}$
藍	$4.55 \sim 4.92$	$6.59 \sim 6.10$
綠	$4.92 \sim 5.77$	$6.10 \sim 5.20$
黃	$5.77 \sim 5.97$	$5.20 \sim 5.03$
橙	$5.97 \sim 6.22$	$5.03 \sim 4.82$
紅	$6.22 \sim 7.80$	$4.82 \sim 3.84$

物體顏色之決定，視下列各因素而定：

1. 物體本身的性質——光線射達一物體後，物體依其特性反射或折射某色光而吸收其餘，此卽選擇吸收。

(1)不透明體的顏色，乃選擇吸收後所餘反射光之色。如紅布反射紅光，吸收其他各色光；白色體將入射白光全部反射；黑色物體則將入射諸光完全吸收，而無任何色光反射或折出，故呈黑暗。

(2)透明體的顏色，乃選擇吸收後所餘透射（折射而出）光之色。如紅色玻璃吸收其他色光，只透過紅色光，故呈紅色。

2. 照射光的性質——例如以不含紅光之光照射紅色物體，卽呈黑色；隔紅色玻璃透視不含紅光之光源亦呈黑色。俗謂“燈下不辨色”其原因卽在受照射光之性質的影響。

3. 入射光透進物體內之深淺——可分雙向色性及表面色二方面說明。

(1)雙向色性（*dichromatism*）——物質善於吸收綠光，若入射光中綠光本強於紅光，透入較深時，綠光多被吸收，致使紅光在殘存部分中轉強而呈紅色。如在顯微鏡下，厚層葉綠素呈紅色，薄層葉綠素呈綠色。在大氣中，中午日光呈白色，晨、昏呈紅色。

(2)表面色（*surface color*）——反射光有一部分自表面立卽漫射，另一部分則深入少許而後反射。某種物質對某單色光可全部予以漫射使返，故在透過之光線中卽不再有此種色光，而有表面色與透過色互異的現象。如金箔反射黃色光，而透過之光則呈藍綠色；銅箔的透過光亦爲藍色。

【顏料色】（Pigment color）

顏料之色與不透明物體所現者相同。顏料之混合，與單色光之混合結果不同。如以藍色及黃色之紙，剪爲半圓形，急速旋轉，則見其爲白色。但以黃和藍兩種顏料，適量混合時，則成綠色。此因顏料分別反射

不吸收的色光之故。

【鬆弛時間】(Time of relaxation)

參閱"阻滯振盪(*Damped oscillation*)"條。

【魏德曼、富朗茲定律】(Wiedemann-Franz law)

當金屬的溫度不太低時，實驗證明金屬導熱係數和導電係數的比值與溫度成正比，而比例常數與金屬種類無關。若K表導熱係數，σ表導電係數，則有下列的關係式：

$$\frac{K}{\sigma}=\frac{\pi^2}{3}\left(\frac{k}{e}\right)^2T$$

此定律稱為魏德曼、富朗茲定律。

十 九 畫

【龐洲】(Pangaea)

詳閱"大陸漂移(*Continental drift*)"條。

【曝光計】(Exposure meter)

攝影使用的曝光計是用來測量光的強度的。裏面有一個與敏感計(*sensitive meter*)連接的光電計，用來測量電池發生的電流量，由分度標記指示出正確的曝光情形。其構造原理及類別如下：

1. 由獲得電氣輸出方法的分類——現在利用硒光電池的很多，即利用硒光電池電動勢隨著光量變化的原理，把分劃板予先校正刻曝光時間或光閥分劃，由指針讀取其值。

另一種原理完全不同的，如圖19—1 所示，即利用隨光線電阻值有變化的物質(稱爲光導電性，如*CdS* 等)把它裝在受光窗，而與電源、計錶串聯，由電阻的變化，測定光線亮度，或利用其電流直接操作快門機構。

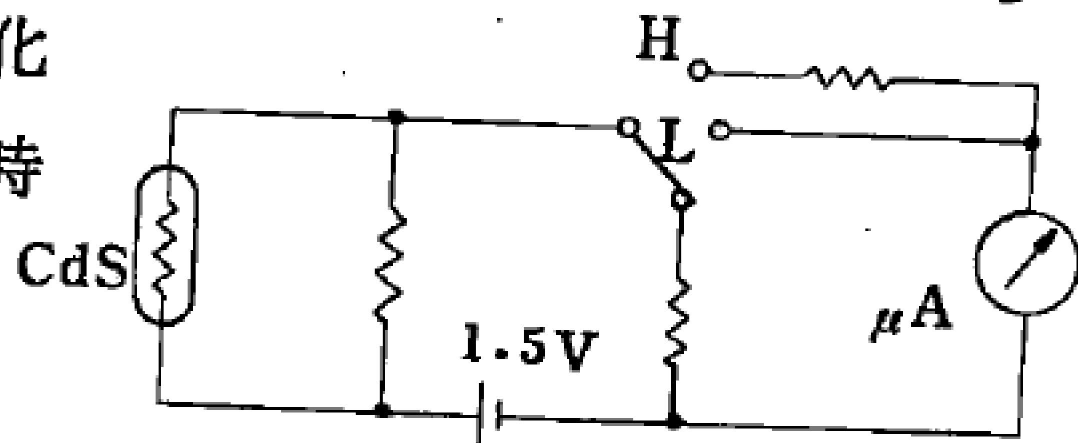


圖19—1 CdS曝光器

電池普通因要考慮使用時間壽命，都使用水銀電池。

2. 色溫度計——彩色照相時，使用於被寫體面色溫度的測定以用於正確色調的再現。其原理是利用對顏色感度不相同的兩種光電池，以比較其輸出測定色溫度。如果在各電池前面各裝紅與青色的濾色鏡，青色光強則表示高溫；紅色光強則表示低溫。

【櫝蘊電路】(Tank circuit)

即儲能電路。

參閱"儲能電路(*Tank circuit*)"條。

【瀝青】(Bitumen)

這是由石油氧化所得的產品，具有絕緣的性能。

【爆震波】(Blast wave)

一種由爆炸所傳出的空氣波動，在這些波動空氣的波前，壓力急遽的增加，而且產生強而易逝的風。

參閱“震波 (*Shock wave*)”條。

【穩定功率】(Steady power)

任何時刻之瞬時功率均相等，或瞬時功率與平均功率相等時，稱爲穩定功率。

【穩定平衡】(Stable equilibrium)

稍微用力於物體上部，力去掉後物體有恢復原狀之傾向，則稱爲穩定平衡。物體的重心位置低，底面積大時，物體稍被推動後，重心升高，但其鉛直線仍未超出底面積，則重力所生之力矩可使物體恢復原位置。如圖 19—2 所示。

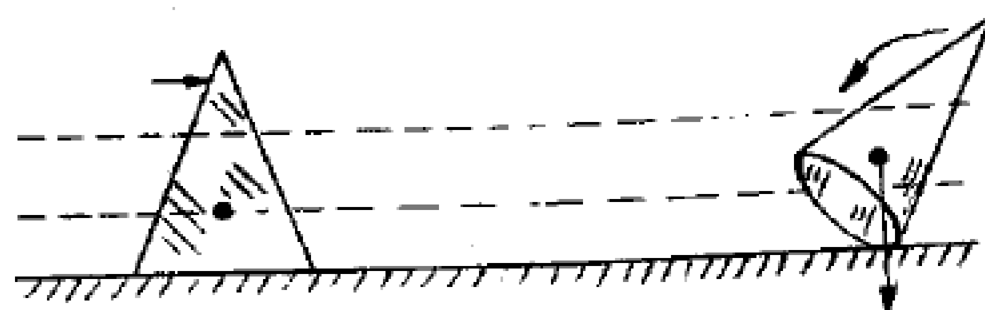


圖 19—2　穩定平衡

【穩定同位素】(Stable isotope)

一種不起放射衰變的同位素。

【穩定狀態】(Steady state)

電流和電壓的幅度不隨時間而變化的一種穩定的狀態。

【穩定流】(Steady flow)

流體內各點的速度不隨時間變化的流動稱爲穩定流。反之，則稱爲擾流。在穩定流內，流線路徑和實質部分的路徑一致。又白努利定理對穩定流成立。

【穩定電流】(Stationary current)

在一段封閉的線路中，假若無電荷之聚集；即進入此區域的基本電荷數等於離開此區域的基本電荷數，則稱此段線路的電流爲穩定電流。

例如電池所供應的電流，恆保持一定，其大小不隨時間而變。

【穩定器】(Stabilizer)

用來減小電源電壓變動的裝置，謂之穩定器。

穩定器的作用是自動的；即使電源電壓有很大的擺動，也能保持幾乎穩定不變的電壓。

維持電壓穩定不變的穩定器，有所謂鐵磁諧振穩定器。在業餘無線電愛好者，通常不利用穩定器來穩定整個電網的電源電壓，而是對加於電子管的已整流的高壓及電子管燈絲電流分別地進行穩定。爲了第一個目的，通常便採用穩定管或者專門的帶電子管的電路，即所謂電子管穩定器。爲了第二個目的，則應用著鎮流管。

【穩度】(Stability)

推倒靜止物體難易的程度，稱爲穩度。

1. 與一物之質量成正比。重量愈大，物體愈穩定。

2. 與此物重心之高低成反比。重心位置愈低，物體愈穩定。

3. 與支點限定之面積（底面積）成正比。同重量的物體，其底面積愈大，則愈穩定。

【簾】(Screen)

分爲金屬的簾罩，作隔離用；電子管之簾柵；陰極射線管內的塗面等三種。

【簾流】(Screen current)

因簾柵接的是$B+$高壓電源，故常有簾柵流產生。

【簾柵】(Screen grid)

在四極管中，控制柵極和屏極間另加一第二柵極。因此在屏極和柵極間就有二個小電容器串聯著，柵極和屏極間的總電容量便可減少，並助屏極吸引電子。這第二柵極叫做簾柵。它具有隔離屏極和第一柵極的作用，使四極管較三極管能放大更高頻率的信號。

在正常工作時，簾柵接有高的正電壓，它可吸取空間電荷中的電子，猶如三極管中的屏極吸取電子一樣。但是簾柵係用細金屬絲繞成螺旋形，大部分電子仍然能穿過它的空隙而抵達屏極，故簾柵僅能吸取小量電子。

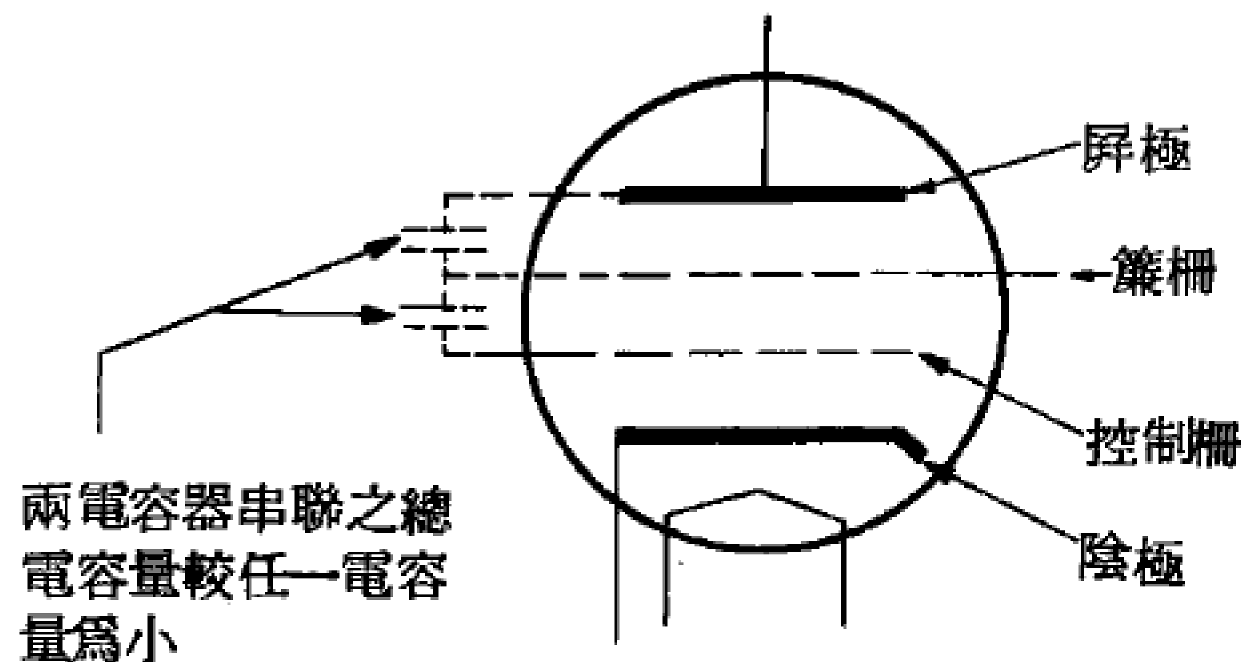


圖 19 — 3

屏極電壓常較簾柵的電壓爲高，其屏極電路和三極管的屏極電路無多大差別，惟在四極管中，屏極電壓對眞空管電流的影響，較用三極管時爲小。

【簾柵管】(Screen-grid tube)

普通指四極管而言。

【簾柵壓】(Screen-grid voltage)

簾柵與陰極間之直流電壓。

【羅差】(Compass error)

這是磁差和偏差的聯合誤差。聯合誤差因單獨的誤差，而名爲東差或西差，例如：若磁差爲東 17，偏差爲西 4，若此則羅差爲東 13 。

【羅倫茲】(Hendrik Antoon Lorentz 1858—1928)

荷蘭物理學家，1858 年七月十八日生。獲來登 (*Leiden*)大學學士學位。由於他的物質的電子理論，與另一荷蘭物理學家則曼 (*P·Zeeman*) 同獲 1902 年諾貝爾物理學獎，則曼因爲發現光譜線的磁效應 (即則曼效應) 而獲獎。羅倫茲假設物質含有帶電的粒子，其電子理論描述帶電粒子之間的力因受運動的影響，使物體的長度與當物體靜止時量得的長度不同，證明運動物體在運動方向的長度會縮短，現稱爲羅倫茲收縮 (*Lorentz contraction*) 。這種長度改變太少，不易觀測到，只

有對極高速率的運動物體從事精確的實驗才能量到。其證明運動物體變形的方程式，稱為羅倫茲變換。羅倫茲理論所述的效應，與愛因斯坦相對論所述者相同。 1928 年二月四日逝世。

【羅倫茲、菲次吉拉收縮】(Lorentz-Fitzgerald contraction)

菲次吉拉為解釋邁克生實驗未測到干涉現象的結果，提出假設，謂在以太中以速度 v 運動的物體，在運動方向上的長度，與靜止時比較，稍有收縮，其收縮率為 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ ：1。

羅倫茲根據電磁學原理及物體的電性結構，推導出上述的效應，這效應稱為羅倫茲、菲次吉拉收縮，亦簡稱羅倫茲收縮。這可說是為挽回以太存在的一種假設。

事實上，上述比例的收縮是愛因斯坦的特殊相對論中，兩基本假設的必然而直接的結論，這就是有名的長度收縮。只是在愛氏的結論中，v 是表示物體對觀察者的速度。所以收縮對不同的觀察者是不一樣的，此時以太的存在與否並無關緊要。

參閱"羅倫茲坐標變換(*Lorentz frame transformation*)"條。

【羅倫茲、羅倫斯介電常數關係】(Lorentz- Lorenz relation of dielectric constant)

$$\tau = \frac{k_e - 1}{k_e + 2}\ \frac{1}{\rho}$$

其中 k_e 是介質之介電常數， ρ 是密度， τ 是介質的特性常數。

【羅倫茲力】(Lorentz force)

觀察一自由電荷在一帶有電流的導線周圍之運動，我們將發現自由電荷會受到磁力的作用。當我們將一陰極射線管移近一帶有電流的導線旁邊時，會看到本來作直線運動的電子現在偏向或偏離導線運動。如果電荷都呈現靜止的狀態，則電荷之間的作用力必遵從庫侖定律。因此，每

一個電荷只受到由其他電荷所造成的靜電場的影響。可是在一般的情形下，當電荷之間有相互的運動時，由於電流的存在，建立了磁場，因此電荷除了受到電場的作用以外，還要受到磁場的影響。

由實驗我們知道磁場施於運動中的電荷的磁力恆與電荷的運動方向相垂直，其大小與質點的電荷成正比並與其速率成正比。因爲力與速度都是向量，故電流（或運動中的電荷）所產生的磁場應當爲一向量場。若質點的速度爲$\vec{v}$，電荷爲q，則質點所受的磁力$\vec{F}_m$與質點所在地點的磁場$\vec{B}$間的關係，可用下述的向量積來表示：

$$\vec{F}_m \propto q\vec{v} \times \vec{B}$$

用$C.G.S.$高斯制時，此一比例式的比例常數爲光速的倒數，故質點所受的磁力爲

$$\vec{F}_m = \frac{1}{c}\, q\vec{v} \times \vec{B}$$

如果在質點所在的地點也有一個電場$\vec{E}$存在，則質點所受到的總外力$\vec{F}$應爲

$$\vec{F} = q\vec{E} + \frac{1}{c}\, q\vec{v} \times \vec{B} \qquad (1)$$

式中$\vec{E}$與$\vec{B}$是二個與電荷q的速度無關的向量。實際上，我們可以將（1）式視爲質點q所在的地點的電場$\vec{E}$與磁場$\vec{B}$的定義式。由實驗知，不論這個質點q作何種運動，不管其速度是否接近光速，也不管宇宙內所有其他的電荷是處於何種狀態，作用在q上的電磁力都可用（1）式來表示，我們稱這個力爲羅倫茲力。

【羅倫茲公式】（Lorentz formula）

羅倫茲公式的數學式爲

$$\frac{n^2-1}{\rho(n^2+2)} = \text{常數} \qquad (1)$$

式中n爲折射率，ρ爲透明物質的密度。

對於極長的電磁波或靜電場內，此式可化爲一極限關係，稱爲克勞修士、毛色梯關係：

$$\frac{k_e-1}{\rho(k_e+2)}=\text{常數} \qquad (2)$$

k_e 是介質的介電常數。此式對於有極分子和高密度介質不太適用。

（1）、（2）式中的常數均隨物質而異。

【羅倫茲坐標變換】（Lorentz frame transformation）

在十九世紀末期，當太空還是被假定充滿著“以太”的時候，對物體如何在以太中運動，以及此種運動如何影響在地球上所量得之光速的問題已有不少的研究。早期的物理學家假定此一假想以太的振動與光之關係就像空氣的振動與聲音之關係一樣。假定以太靜止不動，我們發現光對以太之速度爲 $c=2.9979\times10^8$ 米 秒$^{-1}$；如果地球在以太中運動而對以太沒有干擾的話，則光對地球之速度應該與其傳播之方向有關；例如，當光傳播之方向與地球運動之方向相同時，其相對速度應爲 $c-v$，當其傳播方向與地球運動之方向相反時則應爲 $c+v$；如果光線之路徑（從地球上觀察）垂直於地球之運動方向時，其相對速度應爲 $\sqrt{c^2-v^2}$。

1881年美國物理學家邁克生和毛立開始做一連串實驗，測量在不同方向光對地球的速度，得到所有方向的光速都是一樣的。然而伽立略的坐標變換指出，沒有一個物體對於以等速作相對運動的兩個觀察者會具有相同的速度，而相對速度與觀察者之運動方向有關。有一個可能的不同解釋，是地球拖著以太運動就像拖著大氣運動一樣，因而靠近地面的以太對地球是靜止不動的；可是這是一個難以置信的解釋，因爲以太被拖也應當出現於其他有關光的傳播現象之中，可是這種現象從來沒有被發現過。由於上述的原因，物理學家放棄了以太存在的觀念。

在1905年愛因斯坦發表了他的相對性原理之後，邁克生和毛立實

驗的難題才得到解決。由愛因斯坦的相對性原理知，光速是一個物理上的不變量，對以等速作相對運動之所有觀察者都具有同一數值。因爲速度等於距離除以時間，如果光速對作相對運動的觀察者保持相同的話，我們便必須像改變距離一樣來改變時間；換句話說，即兩個事件之間的時距，對作相對運動之不同觀察者不可能相同。因此，我們必須以別的變換式來代替伽立略的坐標變換式，使光速保持不變值。

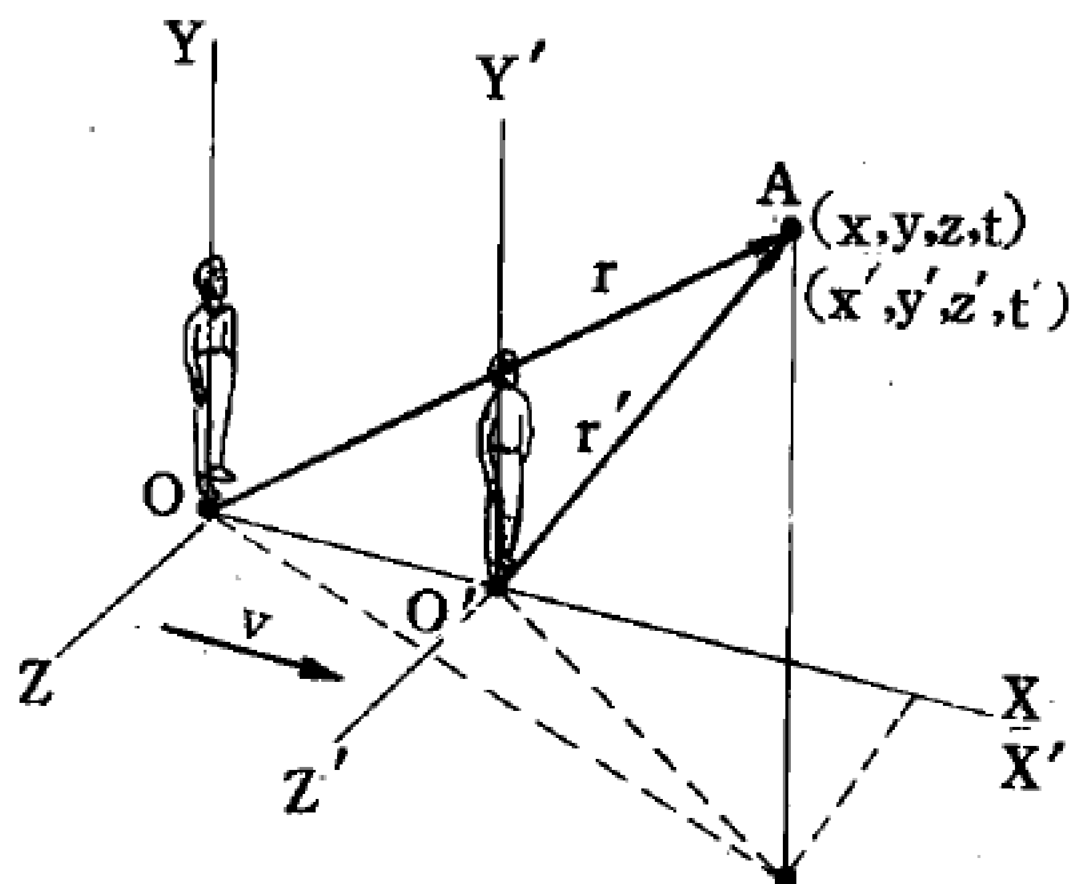


圖 19—4　等速相對運動中之參考系

像在伽立略轉換式中一樣，我們假定觀察者O同O'以相對速度V運動，X軸與X'軸都指向他們相對運動之方向，Y軸及Z軸與Y'軸及Z'軸各別平行（如圖 19—4）；我們還可以假設當O與O'相遇時校準他們的鐘，使

$$t = t' = 0$$

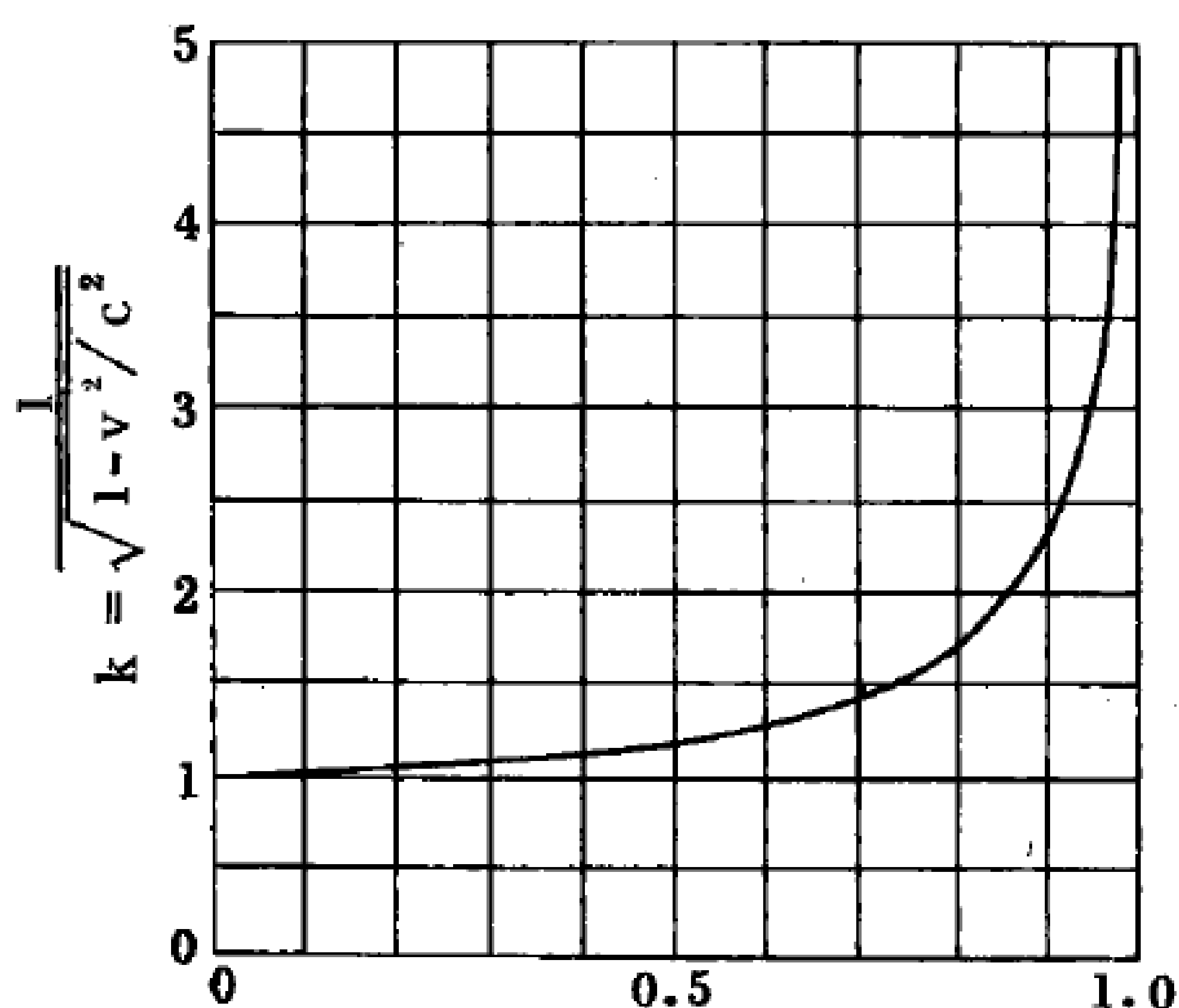


圖 19—5

$k=\dfrac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ 隨 v / c 之變化關係

我們可以看到，與我們在地球上所遇到的大部分速度相比較時，c是一個非常大的速度，因$\dfrac{v}{c}$非常小，$\dfrac{v^2}{c^2}$同$\dfrac{vx}{c^2}$通常可以略去不計，而$k=\dfrac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$之值實際上等於 1（圖 19—5）。於是，從實用觀點來看，羅倫茲變換式與伽立略變換式沒有區別，而我們可以保留後者使用於大

部分我們所遭遇的問題之中。然而，當我們處理非常快的質點如原子中之電子及宇宙線中之質點等問題時，便必須應用羅倫茲（或相對性）變換式。

雖然羅倫茲變換式與伽立略變換式，在大多數實例中並沒有在數字上造成任何大的差別，但從理論的觀點看，羅倫茲變換式表現出很深刻的觀念改變，尤其是在時間與空間方面。

參考圖19—4，假設當 $t=0$ 時，從兩個觀察者之共同位置發出一道閃光，經過時間 t，觀察者 A 將看見光到達 A 點而得出 $r=ct$，式中 c 爲光速；因爲

$$x^2+y^2+z^2=r^2$$

上式可寫成

$$x^2+y^2+z^2=c^2t^2 \qquad (1)$$

同樣情形，觀察者 O'（其位置不再與 O 相同）看見光到達同一 A 點之時間爲 t'，而其速度仍爲 c，所以得出 $r'=ct'$，或

$$x'^2+y'^2+z'^2=c^2t'^2 \qquad (2)$$

由於問題的對稱性，$y'=y$，$z'=z$；又因爲對觀察者 O 而言，$OO'=vt$，故當 $x'=0$（O'點）時，$x=vt$；故可設 $x'=k(x-vt)$，k 爲一待定之常數；又因爲 t' 之不同，我們還可以設 $t'=a(t-bx)$，a 與 b 均爲待定之常數（對伽立略變換式而言，$k=a=1$，$b=0$）。將所有假設代入（2）式，則

$$k^2(x^2-2vxt+v^2t^2)+y^2+z^2$$
$$=c^2a^2(t^2-2bxt+b^2x^2)$$

或

$$(k^2-b^2a^2c^2)x^2-2(k^2v-ba^2c^2)xt$$
$$=\left(a^2-\frac{k^2v^2}{c^2}\right)a^2t^2$$

此一結果與（1）式相同，故

$$k^2 - b^2 a^2 c^2 = 1$$

$$k^2 v - b a^2 c^2 = 0$$

$$a^2 - \frac{k^2 v^2}{c^2} = 1$$

解這一組方程式，得到

$$k = a = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$b = \frac{v^2}{c^2}$$

將這些結果代入 $x' = k(x - vt)$ 及 $t' = a(t - bx)$ 之關係中，便可以得到

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - v\frac{x}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

這一組與動電電磁場的問題相關連之關係式，稱爲羅倫兹變換式。

在(3)式中，比例常數 $k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ 之出現，暗示當二觀察者有相對運動時，其所量得一物體之長度與兩事件間之時距可以是不相同的，於是導致了下面的結果：

1. 長度之收縮———一個物體之長度可以由其兩端點之間的距離來定義，然而，假如物體與觀察者有相對運動時，必須同時記錄其兩端點

之位置。讓我們來考慮一條棒子相對靜止於觀察者O'同時平行於$O'X'$軸；以a與b表示其兩端點，以$L'=x_b'-x_a'$表示由O'所量得之長度。同時性對O'來講是不重要的，因爲他看見棒子靜止不動；可是看棒子運動之觀察者O，必須在同一時刻t量得其兩端點之坐標x_a與x_b，而獲得其長度爲$L=x_b-x_a$；應用（3）式中之第一式，我們得到

$$x_a'=\frac{x_a-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$x_b'=\frac{x_b-vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

在二式中用的是同一個t。二式相減得

$$x_b'-x_a'=\frac{x_b-x_a}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

因爲$x_b-x_a=L$，$x_b'-x_a'=L'$，故

$$L=L'\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

因爲$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}<1$，故$L<L'$，即與物體有相對運動之觀察者$O$所量得物體之長度$L$，比與物體相對靜止之觀察者$O'$所量得之長度$L'$較小；所以當物體與觀察者有相對運動時，其長度顯得較小；而當其與觀察者爲相對靜止時顯得較大。

2.時間的膨脹——一段時距可以定義爲從觀察者量度一個事件至另一事件所經之時間，一個特殊事件發生於空間的特別位置和特別時刻；以這種定義爲術語時，當單擺之鐘擺到達其最高位置便構成一個事件，過了一段時間之後，擺鐘又回到同一位置，這便是第二個事件；在這兩個事件之間所經過的時間就是一段時距。因此，一段時距就是做某事情所需要的時間：如單擺振動一次、電子繞原子核運行一週、不穩定質

點的衰變及心跳一次等等。

茲考慮對觀察者O作相對運動之O'而言，在同一地點x'但不同時刻t_a'及t_b'所發生之兩個事件；對O而言，這兩個事件分別發生於不同地點之不同時刻t_a與t_b。

應用羅倫茲反變換式之最後一個關係於這兩個事件，得到

$$t_a=\frac{t_a'-v\frac{x'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_b=\frac{t_b'-v\frac{x'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_b-t_a=\frac{t_b'-t_a'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

令$T=t_b-t_a$，$T'=t_b'-t_a'$，則

$$T=\frac{T'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (4)$$

T'為相對靜止於事件發生地點之觀察者O'所量得兩事件之間的時距，T為觀察者O所量得之時距，對O而言，事件之發生位置是運動的。因為$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}>1$，（4）式指出$T>T'$；所以當事件發生在相對於觀察者運動之物體上時，其過程所需之時間較長；而發生在相對靜止於觀察者之物體上時，其過程所需之時間較短。

長度收縮與時間膨脹的觀念如此不同於我們對長度與時間之直覺印象，以致對於下述之相對性效應的實驗證明是很重要的。對於由羅倫茲變換式所推論之預言，有足夠的實驗事實予以支持；譬如μ輕子的蛻變。

μ 輕子是一種質量207倍於電子之不安定質點，而以一定之速率蛻變成另外的質點，其蛻變之速率以其半衰期 τ 來表示，而半衰期之意義爲從開始至蛻變一半質點所經之時間。如果有 N 個 μ 輕子靜置於實驗室中，經過時間 τ（半衰期）後僅剩餘一半，即 $\frac{N}{2}$；經過時間 2τ 後剩餘 $\frac{N}{4}$ 或 $\frac{N}{2^2}$；如此類推，很明顯地經過 n 倍其半衰期之時間後僅剩餘 $(\frac{1}{2})^n N$。靜置於實驗室中之 μ 輕子的半衰期約爲 1.5×10^{-6} 秒。

在高度約爲 60 仟米之大氣中，宇宙射線與原子碰撞的結果，便有 μ 輕子產生；這些 μ 輕子具有接近於光之速度。假設

$$v = 0.999c = 2.9949 \times 10^8 \text{ 米-秒}^{-1}$$

μ 輕子以此速度經時間

$$t = \frac{6 \times 10^4}{2.9949 \times 10^8} = 2 \times 10^{-4} \text{秒}$$

而抵達地球表面，此時間等於其半衰期之133倍。如果在地球上之觀察者所計算之時間，與在相對靜止於 μ 輕子之參考系中所計者相同，我們將只能看到原始走向地面 μ 輕子數的 $(\frac{1}{2})^{133}$ 或 10^{-40} 倍；然而，由實驗發現在海面上之輕子數較此值大得多。對此一結果之解釋爲：由於時間的膨脹，在地面上之觀察者所量得 μ 輕子穿過大氣之時間 t，要比與 μ 輕子爲相對靜止之觀察者所量得之時間 t' 大得多。因爲在此情況下，$\frac{v}{c} = 0.999$，而

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 4.5 \times 10^{-2}$$

故應用（4）式，我們發現在 μ 輕子的參考系中，其抵達地球表面所需之時間 t'（即 μ 輕子的固有時間）爲

$$t' = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 9 \times 10^{-6} \text{ 秒}$$

此值約爲其半衰期之 6 倍；經過那一段時間後，μ 輕子到達地面後仍然剩下原有的 $(\frac{1}{2})^6$ 倍即 $\frac{1}{64}$。此一結果與實驗的證據非常相符。

【羅倫茲狀態條件】(Lorentz condition)

$$\nabla \cdot \vec{A} + \frac{1}{c}\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0$$

其中 $\vec{A}$ 是向量位，ϕ 是純量位能，在明可士基空間，羅倫茲狀態條件可寫爲

$$\frac{\partial A_\mu}{\partial X_\mu} = 0$$

【羅倫茲場】(Lorentz field)

介電質極化與磁極化的理論中，爲了找出作用於某分子的局部場情形所假想的空腔場。例如均勻極化介質的圓球洞內的電場強度爲 $(4\pi/3)P$，此處 P 爲介質的極化強度。

【羅倫茲氣體】(Lorentz gas)

一種游離化氣體的理想模型。

【羅倫茲數】(Lorentz number)

羅倫茲數 L 爲導熱係數 K 與導電係數 σ 及溫度 T 間的關係，其定義爲

$$L = K/T\sigma$$

若干金屬的羅倫茲數列如下表。

單位：10^8 瓦特、歐姆/度^2

金 屬	0°C	100°C	金 屬	0°C	100°C
Ag	2.31	2.37	Pb	2.47	2.56
Au	2.35	2.40	Pt	2.51	2.60
Cd	2.42	2.43	Sn	2.52	2.49
Cu	2.23	2.33	W	3.04	3.20
Ir	2.49	2.49	Zn	2.31	2.23
Mo	2.61	2.79			

若以簡單的費米氣體模型解釋上表，則可得$L = 2.45 \times 10^{-8}$瓦特、歐姆/度^2，結果與上表的值非常接近。

【羅倫茲運動方程式】（Lorentz equation of motion）

在明可士基空間中 $\frac{d^2 x_\mu}{ds^2} = \frac{e}{m_0 c^2} f_{\mu\nu} \frac{dx_\nu}{ds}$ ，其中 m_0 是粒子的靜止質量，e 是粒子的電荷，$f_{\mu\nu}$是外加電磁場。

【羅倫茲譜線形狀】（Lorentzian line shape）

羅倫茲譜線形狀與高斯譜線形狀，同爲磁共振光譜譜線形狀中最常出現者。羅倫茲譜線的函數爲

$$g(\omega) = \frac{T_2}{\pi} \frac{1}{1 + T_2^2 (\omega - \omega_0)^2}$$

這種函數形狀與一般阻滯振盪運動的振幅函數相似。由此可猜想羅倫茲譜線形狀，必與核自旋的磁矩在有微小阻滯的晶格磁場中運動有關，實際上羅倫茲譜線形狀可由這種觀念計算出來。這函數的圖形如圖19—6所示。

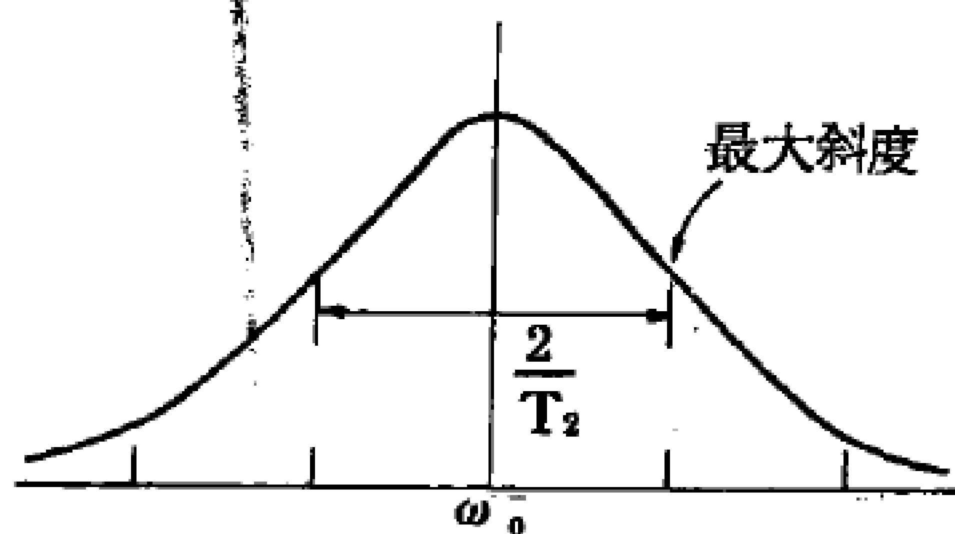


圖 19 — 6

這種函數在頻率爲ω_0之處有一尖峯（即$g(\omega_0)$甚大於其他值），在吸收最大值的$\frac{1}{2}$處的譜線寬度爲$\frac{2}{T_2}$。高斯譜線與羅倫茲譜線形狀的差別，在於後者於譜線外圍的下降比前者慢得多。

【羅倫茲關係】（Lorentz relation）

羅倫茲關係是用以描述介電質的局部靜電場與極化強度及外加電場之間的關係。一介電質的局部電場可分成四項：

1. 外界電荷造成的電場$\vec{E}_0$。

2. 介質外表面電荷造成電場$\vec{E}_1$。

3.羅倫茲腔場（又稱極化電場）$\vec{E}_2$，可想像在介質中挖掉一個球腔，則 $\vec{E}_2$ 爲在腔的內表面上的極化電荷所生之電場。

4.羅倫茲腔內原子的電場 $\vec{E}_3$，羅倫茲腔場的值求得爲 $4\pi\vec{P}/3$，$\vec{P}$ 是極化向量。而 $\vec{E}_3$ 是腔內電雙極矩的電場，所以與晶體的對稱性有關，由圓球的對稱及晶格對稱可知 $\vec{E}_3$ 爲零。所以一四方晶體的局部總電場爲

$$\vec{E}+\frac{4\pi\vec{P}}{3}$$

$\vec{E}$ 是所謂巨觀電場，其值爲 $\vec{E}_0$ 及 $\vec{E}_1$ 之和。上述的局部電場值爲巨觀電場與極化電場之和的關係，這就是羅倫茲關係。羅倫茲關係在四方離子晶體中已有實驗的根據。

【羅賓定律】（Robin law）

在物理化學平衡的系統中，若壓力增加，則此物系趨向體積減少；反之，若壓力減小，則體積增加。

【羅盤】（Compass）

係應用磁針以辨別方位的裝置。其主要部分爲：

1.質輕的圓盤。

2.表面劃分32等分以示方位。

3.盤的裏面固定著數個平行的磁針，裝在水平位置。

4.圓盤的中心，支於一針尖上。

5.盤外有保持水平的裝置，不受船隻顛簸的影響。

6.容納圓盤的內箱，附有和船首方向一致的指標，依指標指出圓盤上的方位，即知船進行的方向。

常見的簡單羅盤，內部是一支能自由轉動的磁針，針下是一面圓盤（如圖19—7所示），使用時將羅盤放在水平位置，並使N極指向北方，由磁針的指示，即可辨明方向。

另有一種航海用液體式羅盤是以劃度浮筏浮於充滿水與酒精之圓斗

中，斗支於與船身固結的平衡環上，重力作用使斗面水平，以測船向。又廻轉羅盤（*gyro-compass*）是利用不受外力矩之轉動重輪，使其轉軸常保持一定方向之原理製成。

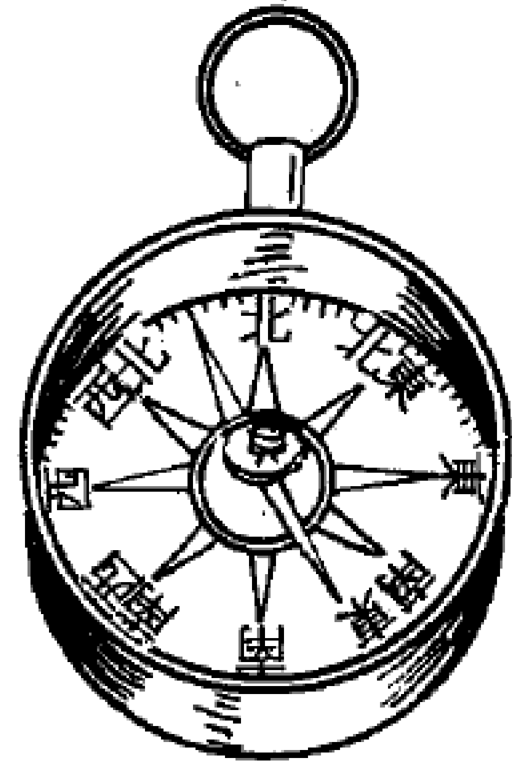


圖19—7　簡單羅盤

【蟹狀星雲】（Crab nebula）

蟹狀星雲爲超新星爆炸的殘餘物。此事件發生於西元1054年六月十日，亦即我國宋時至和元年五月乙丑，其強烈之可見光曾延續二年之久。迄今仍以每年0.21″速率擴展其半徑，其向四周均勻擴展速度爲1,300 *km/sec*。因此，在其離太陽的距離（*D*）處，以1,300 *km/sec* 速度，或 $1,300 \times 3.2 \times 10^{7}$ 公里/年 $= 4 \times 10^{10}$ 公里/年之速度擴展和每年擴展移動的0.21″角相等，則

$$\frac{2\pi D}{4 \times 10^{10}} = \frac{360° \times 60' \times 60''}{0.21''}$$

故蟹狀星雲的距離爲 $D = 1,300$ *psc*（秒差距）。

這星雲現在的半徑約180″。全星雲以每年擴展0.21″，則星體當接近其中心位置時應在 $\frac{180''}{0.21''} = 860$ 年以前，即與我國宋史所載該星爆發的時期相接近。它的外緣是一大團紅絲，是由稀薄氣體中的原子以自然頻率“叮噹作聲”產生的，它造成了許多不同頻率的明線光譜，紅色的發生是由於氮氣。另一方面，中央區是神秘朦朧的光，其光譜之頻率呈連續分佈，也就是說，沒有與特殊原子相聯的特別頻率，但這不是藉附近的星而照亮的塵粒，我們可以穿過它看見別的星，所以它是透明的，但是它的確在發光。

它的光亮是來自高度加速的電子，而這些電子可能由反物質的相消作用而產生。此星雲的模糊部分的密度每立方厘米內約有 10^{2} 或 10^{3} 個原子，星雲的全質量約爲太陽系總質量的 20 倍。因中央星球的質量數

級約爲一太陽，當爆發時其大多數的原來質量被爆炸飛去。

【譜位移定律】(Spectroscopic displacement law)

譜位移定律係由柯色耳 (*Kossel*) 及左末非 (*Sommerfeld*) 所倡。原子序數 Z 之元素的弧光譜與原子序數 $Z+1$ 的元素的一階電光譜類似，與原子序數 $Z+2$ 之元素的二階電光譜類似，依此類推。

【贋位】(Pseudopotential)

在計算金屬的能帶時，我們可以假設離子最外軌層的電子差不多是自由的，但是在離子核心內原子核附近的電子，不再像平面波一樣簡單，因爲這些電子在這附近所具有的電位很強，而且變化很大。不過我們可以用一有效位能，代替在離子核心位置的實際位能，而用此有效位能又能夠在離子軌層外得到和用實際位能相同的波動函數，這種有效位能稱爲贋位。事實上由於某些抵銷作用的結果，在離子核心內的贋位幾乎是零，而且若不考慮屏蔽作用，在離子核心外的贋位與離子在該處的電位差不多，通常必須考慮屏蔽作用，因此贋位遠弱於實際電位。

【蹴後供給】(Kickback supply)

當再掃描時，陰極射線管電路之高壓供給，其電力來自水平掃描輸出變壓器之首次脈衝，此即稱爲蹴後供給。

【邊界條件】(Boundary condition)

物理的定律以數學的形式表示者，大多是微分方程式的形式。而物理的實際情況，常受到許多條件的限制，如時間、位置等，此種實際的物理狀態的限制稱爲邊界條件。如電磁學中的帕松 (*Poisson*) 方程式，乃是電位、電場或電荷的限制條件；又如量子力學中的薛丁格 (*Schrödinger*) 方程式，其波函數在無限遠處，或某特殊點處的形式是邊界條件，此種條件限制波函數的形式，更使本徵値有特殊的形式，其能量的不連續現象也是由此所決定。

在某固定時刻，整個物理系統的狀態稱爲起始條件。在某特定的點

、線、面或體，其上之物理狀態的限制，稱爲邊界條件。必須有某些適當的邊界條件方能確定方程式的解，一般物理上的偏微分方程式所需要的邊界條件如下表：

邊界條件情形	方程式形式		
	橢圓式（帕松方程式）	雙曲線式（波動方程式）	拋物線式（熱傳導方程式）
已知邊界面上函數值			
開放面	不　足	不　足	在某方向有單一穩定解
封閉面	第一穩定態	過　多	過　多
已知邊界面方向的微分值			
開放面	不　足	不　足	在某方向有單一穩定解
封閉面	單一穩定解	過　多	過　多
邊界方向的微分值和函數值均已知			
開放面	無物理結果	單一穩定解	過　多
封閉面	過　多	過　多	過　多

【邊界層】（ Boundary layer ）

邊界層的觀念於1904 年由普郎特爾（ *Prandtal* ）所提出。對黏性小的流體，如水或空氣，免計黏性的完美流體理論大致可成立。但在物體表面附近，則速度梯度以及渦度變大，不能免計黏性。在黏性小的流體時，此種領域極薄，被稱爲邊界層。例如在速度爲U的均勻流體中，放置一平板，使其與流線平行，則在下流距板前端x處，邊界層的厚度

約等於 $\delta = \sqrt{\frac{\nu x}{U}}$ ，式中 ν 為動黏性係數。在空氣中，若 $\nu = 0.15$ 厘米^2/秒，$U = 10$ 厘米/秒，$x = 10$ 厘米，則 $\delta \simeq 0.04$ 厘米。通常對雷諾數大的流動，物體表面上出現邊界層。但在其外側，則流體可視作完美流體，邊界層內的流體可用邊界層方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial t} + \nu\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

和連續方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

敍述，式中 t 為時間，x 及 y 分別為與物體表面平行及垂直的坐標，u 及 v 分別為該方向的速度，ρ 為密度，p 為壓力，等於接於邊界層外側的壓力。

【邊際效應】(Edge effect)

謂在電容器邊界，電場並不垂直於二板，亦即近電容器邊緣的力線有擴散作用。

【鏡反射】(Mirror reflection)

晶體是一群規則排列的原子，以某種結合力維繫在一起，因此它有對稱性，鏡反射是對稱性的一種。若有一個平面，使這平面兩邊的晶格就如位於平面鏡兩邊的物和影像一樣，亦即這晶體的一半對於某平面而言，正好像是另一半的影像，這種對稱性稱為鏡反射。

【鏡用合金】(Speculum metal)

一種錫與銅的合金。

【鏡粒子】(Mirror particles)

即一個實在的粒子在鏡子裏所成的像。而這二者是一致的。這個規律即宇稱性守恆律(*conservation of parity*)，這是一個與描述物理現象的方程式對稱性質有關係的術語。

【鏡軸】(Axis of mirror)

球面鏡之曲率中心與鏡心之連結線，謂之鏡軸。

【鏡像核】(Mirror nuclei)

一對質量數同爲奇數A之原子核，一者所含中子數比質子數多一個，另一者所含中子數比質子數少一個，如前者中的一個中子換爲一個質子，則變成與後者相同的原子核。同樣，如果後者中的一個質子換爲一個中子，則變成與前者相同的原子核，這樣一對原子核稱爲鏡像核。互爲鏡像核的兩原子核質量數相同，僅質子數與中子數相差爲1。例如，$^{7}_{3}Li$和$^{7}_{4}Be$、$^{13}_{6}C$和$^{13}_{7}N$、$^{17}_{8}O$和$^{17}_{9}F$及$^{21}_{10}Na$和$^{21}_{11}Ne$等均互爲鏡像核。圖19—8示質量數爲13之鏡像核中的中子和質子排列示意圖。前者^{13}C可視爲由原子核^{12}C和一個中子組成者，後者^{13}N可視爲由原子核^{12}C和一個質子組成者。作用於^{12}C和中子間之核力與作用於^{12}C和一個質子間的核力大約相同。這表示核力具有電荷對稱(*charge symmetry*)。又如原子核^{14}O，^{14}C及^{14}N可視爲由原子核^{12}C分別和一對質子pp，一對中子nn及一對np組成的。如果它們沒有庫倫能量的差異，也沒有質子和中子質量不同的差異，則可預測三者能階位於相同位置。實際上實驗觀測到它們的能階如圖19—9所示，^{14}C及^{14}O的基態和^{14}N第一受激態(2.31 MeV)相當於同一能階，同爲同位旋$T=1$的0^{+}態。這表示作用於$p-p$，$n-p$及$n-n$之間核力幾乎是相等的，於是可以假定核力具有電荷無關性(*charge*

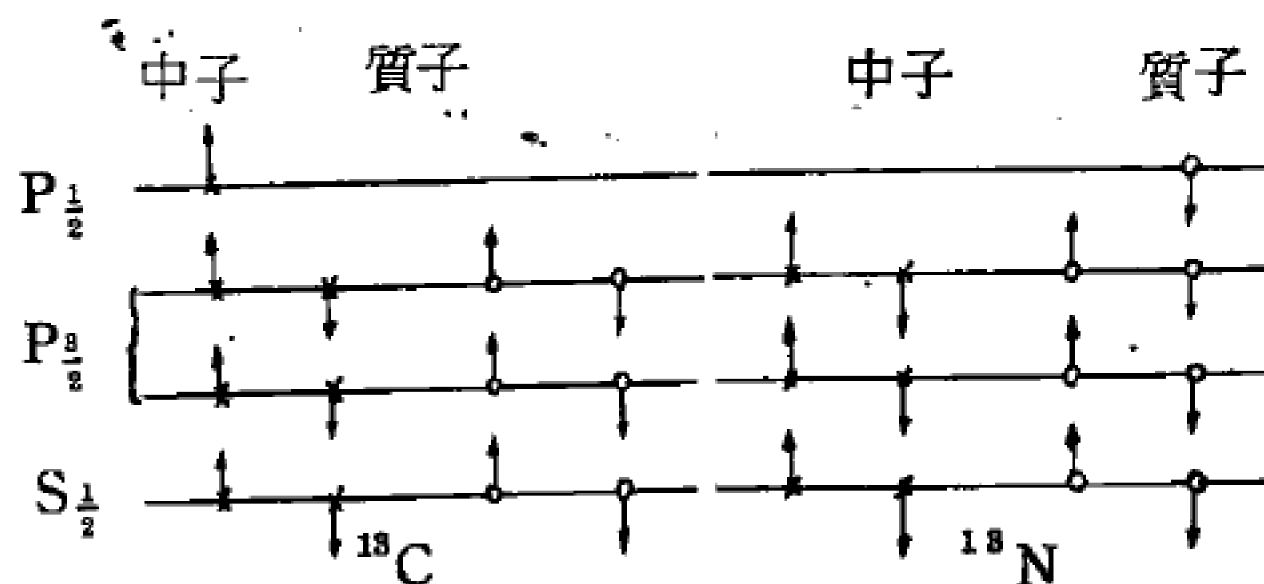


圖19—8

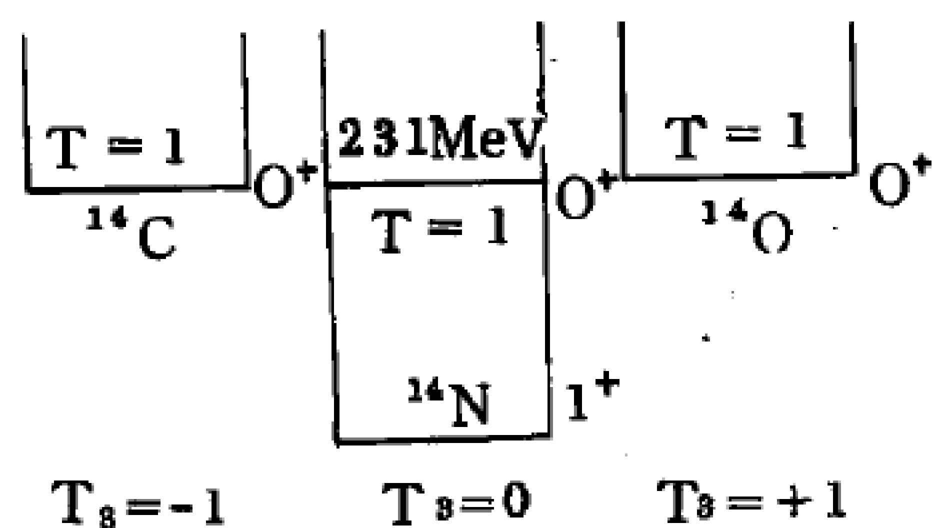


圖19—9

independence），即核力與原子核的電荷沒有關係。由於核力具有電荷無關性，我們可將質子和中子視爲相同的核子而存在兩種不同的狀態，一爲質子態，一爲中子態。爲了分別這兩種狀態，並表示核力電荷對稱，乃引用一量子數T，稱爲同位旋（ *isospin* ），正如用量子數自旋I以分別核子的兩種自旋態。總而言之，從對鏡像核的研究及其他許多徵象，顯示核力具有下述特性：

1. 電荷對稱——中子與中子之間的作用力和質子與質子之間的作用力相等，即$F_{n-n}=F_{p-p}$。

2. 電荷無關性——中子與質子之間的作用力與以上兩力也相等，即$F_{n-p}=F_{n-n}=F_{p-p}$。

【鏑】（ Dysprosium ；Dy ）

原子序爲66的鹼土金屬元素。

【鏈條與齒輪】（ Chain and cogwheel ）

當自行車之鏈條與齒輪配合時，由於齒輪的齒與鏈條的孔相嚙合而不致有滑動，所以要把大的動力較慢傳達，或希望把旋轉速度正確傳送時常採用。

【鏈耦合】（ Link coupling ）

一般主控式發射機，採用鏈耦合。鏈耦合最主要的任務是連絡兩個電路，此種連絡法可以避免彼此間的影響。鏈耦合是用極小轉數繞在屏極線圈與屏路耦合，然後另兩端繞在次級柵圈端與柵耦合。

【鏈環】（ Link ）

頻道或電路中擔任連絡起前後關係者。

【鐽】（ Hahnium ）

爲新元素105號，此是利用加州勞倫斯放射研究所的重離子直線加速器，以八千四百萬電子伏特的高能，發射氮-15核子，撞擊極渺小的重原子鉲-249（ *californium* 249）。此種核子粒雖不斷射擊，但每

小時只有6次，能夠產生新元素的原子。

當氮-15與鉲-249兩種核子相遇時，即結合爲單一的核子，其中計含260個中子和質子。（另外4個中子，則在變化過程中由放射而失落。）在這些質點之中，共有105個質子，並帶有正電的質子。既然質子是105個，所以稱爲第105號元素。

105號元素已被建議名爲鉿，以紀念德國化學家哈恩（*Otto Hahn*），因哈恩曾在1938年發明核子分裂法。

科學家正在以人工合成更爲複雜的元素，而且近期即可製造出原子序數110至114範圍內的超重元素（110像白金，114似鉛）。根據理論，此類超重元素性質穩定，在地球和月球上，迄今仍以原始面貌存在。科學家現在正分析太陽神太空船所帶回的岩石，希望能夠發現這類元素。否則，也可能由人工製造出來。

【離子】（Ion）

離子是原子或分子失去或獲得一個或多個電子所形成。若自原子中移去一個電子，則對此一原子整個來說即成爲帶正電的原子，是爲陽離子。又如加一個電子於原子，原子即呈帶陰電，是爲陰離子。

當電解質溶於水時，就很容易分成陽離子或陰離子。例如氯化鈉（$NaCl$）溶於水時，即分別成爲鈉離子（帶正電）和氯離子（帶負電）而和水結合成爲水合離子。

【離子化氣體】（Ionized gas）

即氣體中一部分原子或分子具有電荷。

【離子半徑】（Ionic radius）

當兩離子互相接近至電子軌層開始重疊時，它們之間的互斥力突然急速增加。這可用每一離子都有一固定的半徑，來描述這種現象，這些離子的半徑決定離子晶體的結構。庖立（*Pauli*）已經計算出許多離子晶體的半徑，諸如下列離子晶體的值（以埃爲單位）：

Li^{+}	0.60	Ti^{+4}	0.68
Na^{+}	0.95	Zr^{+4}	0.80
K^{+}	1.33	Ce^{+4}	1.01
Rb^{+}	1.48	C^{-4}	2.60
Cs^{+}	1.69	Si^{-4}	2.71
C^{+4}	0.15	Ge^{-4}	2.72
Si^{+4}	0.41	Sn^{-4}	2.94

【離子交換】(Ion exchange)

溶液中和固態(常用的是塑膠物或樹脂)中的不同離子相互交換的化學過程稱爲離子交換。這種過程是可逆的，它可用來分離並淨化溶液中的化學品，如核裂產物(*fission products*)、稀土元素等。

【離子位能】(Ionic potential energy)

其定義爲電荷除以離子半徑。

【離子性分子】(Ionic molecule)

二個或二個以上的原子組成的分子，其結合鍵若爲離子鍵，如$NaCl$，則此分子稱爲離子性分子。離子性分子在水溶液中呈水解現象，成爲兩帶電的離子或離子基。

【離子性晶體】(Ionic crystals)

由正負離子相互吸引而結合成的晶體稱爲離子性晶體。其結構主要受控於正、負離子間庫倫靜電吸引力及核心的拒斥力的平衡。此種晶體很穩定，卻容易爆裂。在紅外線區，光之吸收係數很強，同時在較高之溫度也表現離子電導性。

例如在$NaCl$固體中，正鈉離子聚集於負氯離子四周，而氯離子也同樣聚集於鈉離子的四周。於是形成有6個正離子圍繞著每個負離子以及6個負離子圍繞著每個正離子的晶體，形成一對一之組合。

幾乎所有的鹼(*alkali*)金屬，包括鋰、鈉、鉀、銣、銫，都與鹵

族（*halogen*）元素氟、氯、溴、碘，形成這種由電荷的吸引所導致的結構。

許多其他原子亦能形成離子性晶體，如氧原子與鎂原子能交換兩個電子，而形成帶正電荷的鎂離子Mg^{++}，和帶負電荷的氧離子O^{--}。這兩個離子相合為氧化鎂（MgO）分子，其晶體結構與$NaCl$相似。

如兩種離子帶電量不相等，亦可形成其他離子性的晶體。例如螢石結晶，是由失去兩個電子而帶雙倍正電的鈣離子（Ca^{++}），與含一額外電子而帶負電的氟離子（F^{-}）組合而成，其晶體構造與$NaCl$不同。

在離子性晶體的結構中，吾人不能指出那些特定的離子組成一個分子。在離子性晶體中，有兩種普通的晶體結構，即氯化鈉（$NaCl$）和氯化銫（$CsCl$）的結構。

【離子真空計】（Ionization vacuum guage）

這是一種度量低於10^{-4}托爾（*torr*）（*mmHg*）氣壓的儀器。其包括一個熱絲陰極（*cathod*），四周圍繞著帶正電的柵極（*grid*）。然後包在一個集極（*collector*）外殼裏。這整套裝置在被封在一個連於真空室的外套中，因此這個真空計，實際上就成了真空室的一部分。從中央陰極射出的電子，快速的移向柵極。在它們移動的路程中，有些電子會與待量度的氣體分子相撞，把分子中的電子打出來，造成正離子。所有的電子終將被吸集在柵極上，而正離子則移動到帶陰電的集極上，使連於集極的線路中產生小的電流脈衝。離子產生的數目取決於氣體的密度（也就是說，取決於每立方厘米所含的氣體分子數），所以集極流過的電流是氣體分子密度的一種指標。

電子撞擊柵極後，產生了低能量的X射線。這些輻射線中有一部分會打在離子集極上，藉著光電效應，使集極表面上的一些電子被釋放出來。就集極外線路中的電流計來說，一個負電子離開集極，與一個正離子到達集極，二者所產生的效應是完全相同的。簡言之，當真空計中甚

至沒有一點氣體，所以也沒有離子時，電流計仍然會記錄到一些電流。這些無法消除的光電流相當於大約 10^{-8} 托爾的氣壓。

【離子偶】(Ion pair)

中性原子或分子經過輻射照射後，能同時產生正離子與負離子（通常是電子），且帶有相同的電量。如此產生的正負離子稱爲離子偶。

【離子源】(Ion source)

所有產生高速粒子的加速器都需有離子源的裝置。離子源產生正（或負）離子的射束，例如加速質子。普通用的離子源爲一熱絲（*hot filament*）裝置；如加速質子，則普通用的離子源爲放電管裝置，利用一高溫熱絲放射電子，使其在充滿氫氣的管內振動，並撞擊氫原子使產生游離，再利用外加電場使產生的離子被引導射出。

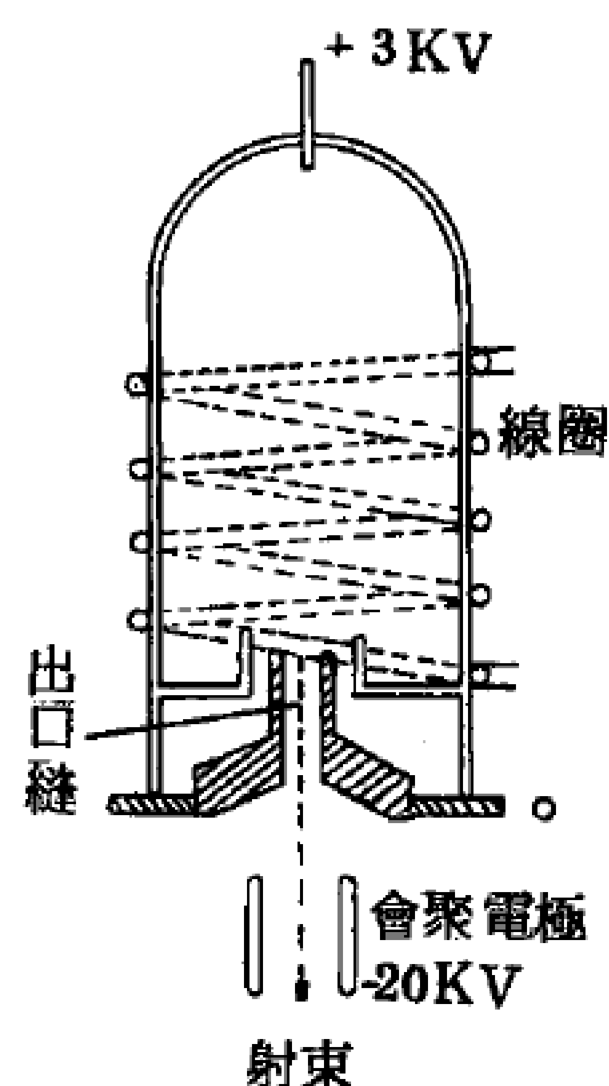


圖 19 — 10

常用產生正離子源爲射頻離子源（*radio frequency ion source*），離子是以射頻離子化一種氣體（例如氫氣）而產生的。氣體原子放電作用是在一個特製的派熱司（*pyrex*）玻璃管內，及在外加射頻振盪的高電場下完成，此法可產生大量的離子射束，如圖 19 — 10所示。圖示放電管外加螺旋線圈，連接高週率振盪器，其供給大約每秒 20 兆週 300 瓦特的電場，管內所產生的離子射束，經以外加正電壓（*3KV*）使在出口端抽引出去，再經會聚電極（*focussing electrode*）後便成一適當的會聚射束，即可引導進入加速器內供加速之用。

【離子遷移率】(Ionic mobility)

即固體中離子的遷移率（或移動率）

$$\mu = \left(\frac{eD_0}{kT} \right) e^{-\frac{E}{KT}}$$

式中D_0是常數，E是活化能，T是絕對溫度，k是波茲曼常數。

【離子機】(Ion engine)

一種藉驅動加速的或高速的離子來產生推力的機械。由核反應器供給能量的離子機，正被考慮用來推動太空船。

【離子導電性】(Ionic conductivity)

由離子運動所造成的導電性，稱爲離子導電性。在鹼金屬和銀的鹵化物晶體中，其導電性通常是由於離子的運動所致，而不是由於電子的運動。離子導電性的研究對於晶格缺陷的探討是一非常重要的工具。

【離子點】(Ion spot)

由重量較大之負離子轟擊顯像管之螢光幕所產生之棕色光點。

【離子體】(Plasma)

離子體或稱電漿這個名詞由離子體振盪(*plasma oscillation*)一詞而來。蘭牟(*Langmuir*)首先用離子體振盪來描述能在離子體中持續的高頻率(1,000兆週/秒)縱向振動。在這高頻率的區域內，普通的聲波會被強烈阻滯而消失，所以不能持續。

當普通的氣體熱到甚高的溫度時，隨其增加的熱動能使氣體中的粒子之間引起更強烈的碰撞，因而使原子或分子中的電子被撞掉而成爲游離狀態。在這種高度的游離狀態時，整個氣體的動態行爲主要是由這些不受束縛的電子和離子之間的電磁力而定，游離氣體的性質也因此與普通未被游離的氣體大不相同。由於這個原因，這種高度游離狀態的氣體新定爲離子體。

近代物理對於分子、原子，甚至原子核的研究，實在都是起源於對氣體中導電現象的研究。事實上直到最近，這種低度游離狀態下的氣體，仍然大量用來研究原子的結構及一些複雜的碰撞過程，諸如游離、激發

、非彈性散射、共振散射等。這些過程都是發生在電子撞擊原子的時候，並不是離子體的性質。在實驗室裏，需要克服相當大的困難才可以產生及觀察到高度游離狀態的離子體以及它的整體行爲。因此，我們可以瞭解通常對游離氣體的研究大部分是關於原子碰撞的過程，而非離子體的性質。

近年來由於天文物理學家的研究，又激起了人們對離子體的興趣。現在我們已知離子體狀態實在是宇宙中物質最主要的正常狀態。在星球及太空中最豐富的元素是氫氣，大部分都被剝去電子而呈游離狀態。氦是次豐的元素，在太陽內部以及日冕中氦的兩個電子也被剝掉了。比較靠近我們的太陽風（ *solar wind* ）、范艾倫帶、電離層（ *ionosphere* ）等，它們的性質都要用離子體來描述。

於今離子體在技術上種種可能的工作已引起很大的注意，其中最有意義的研究是控制輕元素的原子核熱核聚變（ *thermonuclear fusion* ）反應所釋放出的能量，而且由於這項研究的刺激，使得關於離子體現象方面的描述和了解也有相當的進展。對於行星間飛行時使用離子推進器的可能性，以及直接用熱離子轉換能量的可能性，也同樣受到重視。

分析這種完全游離化離子體的問題有幾種類型，雖然在離子體中的基本物理過程比一般氣體還簡單，但是由於其與電磁場間的強烈耦合使它的運動較爲複雜。從巨觀方面看，和一個強磁場交互作用的離子體可以考慮成一種高度導電性的流體，因此可以用水力學方程式和馬克士威方程式合併描述它。我們可以預想得到其結果必較普通的水力學繁難，這方面的分析事實上已經發展成另一支學問，稱爲磁性水力學（*Magnetohydrodynamics* 或 *Hydromagnetics*）或者磁性流體力學（*Magneto-fluid-mechanics*），以別於普通的流體力學。

即使完全沒有磁場，離子體的靜電性質也可以使其發生複雜的巨觀

運動。這是由於靜電回復力所引起，因此在普通的氣體中是不會發生的。

從微觀方面看，離子體包含一群帶電粒子，其間的交互作用遵循簡單的平方反比定律（以及任何外磁場的力），所以看起來像是古典氣體運動論的理想題材。然而在普通的擴散性氣體中交互作用，可以看成由一些難得而驟然的雙體碰撞而成，但是由於庫倫力的長距離作用的特性，這種簡單的構想已不再有效，離子體的微觀運動必須當成“多體物理”（*many-body physics*）中的問題來考慮才合適，而在最近我們才知道有系統的處理這些多體問題的方法。

【離子體振盪】（Plasma oscillation）

在一高度離子化的氣體中，有極多帶正電荷的離子和相等數量的自由電子。它們的總電荷是零，但是電子經常在運動，故局部電子密度經常在起伏變化。假定某處電子密度現在低於平均密度，則此地正電荷超過負電荷，此多餘的正電荷就會吸引鄰近的電子，這種吸引力使這裏的電子密度高於平均值。超過的負電荷又會向外排斥電子，於是電子被引來推去而構成一種縱振盪，這種類似聲波的振盪稱爲離子體振盪。對於長波長的離子體振盪，其振盪頻率可以下式表之：

$$\omega_p = \left(\frac{4\pi n e^2}{m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中 n 爲電子密度，m 爲電子的質量，e 爲電荷。

【離子體頻率】（Plasma frequency）

電子能在離子體中做相參性運動的自然頻率，此振盪與彈簧連一物體之振動情形類似。物體運動的頻率與物體的質量和彈簧的回復力有關，電子的頻率則與電子質量和電子移動而生的空間電荷場的回復力有關。因空間電荷場與電子密度成正比，故離子體頻率乃與電子密度的平方根成正比。但此簡單定義尚不足以說明離子體頻率的重要觀念，因爲還有許多其他的物理意義。使無碰撞離子體的介電常數等於零時所

加電場的頻率，也是離子體頻率，此效應常被稱為離子體共振。由於電子所載電流正好抵銷交流電場的自由空間位移電流，發生這種共振因無淨電流，故可證明在此離子體的電磁波無法在這種離子體中傳播，至於離子體可傳播頻率較高的電磁波，但不傳播頻率較低者。這種現象已被觀察到，如高頻率的雷達信號可以穿過游離層，而低頻率的無線電信號卻被反射。觀測游離層停止反射和開始傳達的頻率可以量度游離層中的離子體密度，別種計算證明離子體頻率等於電子散亂熱運動的速度除以“德拜長度”。其他的理論證明離子體振盪和不穩性也與離子體頻率有關係。

【離心力】(Centrifugal force)

轉動坐標系（相對於慣性系以一定的角速度 ω 而轉動的坐標系）中的觀察者所感受的沿徑向外的力，謂之離心力。又稱遠心力，即物體迴繞圓周運動時，被牽引而遠離中心的力量。它和向心力大小相等（ $m\omega^2 r$ ）而方向相反。以一物沿翻圈（ *loop-the-loop* ）軌道滑行為例，若 $\omega = \sqrt{\frac{g}{r}}$ ，則位於環之頂點時，該物體受到一向上的離心力 $m\omega^2 r = mg$ ，恰好與其重量平衡而不致落下。對站在一旁的人而言，則覺得物體的重量適足以成為向心力的來源，而得以維持其圓周運動。

參閱“向心力（ *Centripetal force* ）”條。

【離心加速度】(Centrifugal acceleration)

參閱“向心加速度（ *Centripetal acceleration* ）”條。

【離心伸長】(Centrifugal stretching)

分子的轉動能階能量以雙原子分子為例為

$$E(J) = BJ(J+1) - DJ^2(J+1)^2$$

式中 J 為轉動量子數，B 為轉動常數（ $h/2\pi^2 cI_B$ ，I_B 為分子的慣性矩）。B 項表示一剛體分子的轉動動能，事實上分子轉動時其鍵因離心力作用而稍被拉長，慣性矩增加使轉動能階能量減少，故須加入一修正

項。修正項中常數$D = \frac{4B^2}{\omega^2}$（$\omega$為轉動頻率），爲離心伸張係數。其他形式分子的轉動能階亦有類似的修正項。

【離心效應】(Centrifugal effect)

地球自轉將其表面物上舉，故在赤道上之物重小於兩極，每289磅即有一磅之差。由於地球扁率，在重量上實際之減少數字約550磅差一磅。

【離心機】(Centrifuge)

應用離心力以使溶液中的溶質分離出來的裝置，通常有間歇、連續及超速者三種。由於離心機可達到相當高的角速，因而離心力會遠大於重力，於是液中懸浮物便易於沉澱析出。

【離心壓氣機】(Centrifugal compressors)

爲變態之離心喞筒。激動輪由較輕之材料所構成，旋轉速度每分鐘約在400～500次。

單級所產生之壓力甚低，可互相連結而成多級式之高壓氣機，最高者達14級。

【離合器】(Clutch)

在汽車引擎裏，發動機和輪子的轉軸並非永遠連結著，而是利用一組可使其分離或接合的裝置來控制，這組裝置便是離合器。

離合器依其原理可分成兩種，利用顎夾齧合的叫確動離合器，優點是轉速固定；利用摩擦力齧合的叫摩擦離合器，產生的振動較小。

除了用在汽車上外，許多機械裏，主動轉軸和從動轉軸之間，都非靠離合器來連接不可。

【離散無線電源】(Discrete radio source)

空間許多小區域存在發射無線電波長之電源，相信尚有極多類似之電源遠在光學遠鏡視力範圍之外，並且大多數在本銀河系之外。

空間電源有許多解析，有說由正常星系所發，有說爲超巨星，或撞碰銀河系（*collision galaxy*）所發。在過去，這些電源被稱爲電波星（*radio stars*）。

【離體子】（Plasmon）

電子氣受激發而作振盪時，其振盪的頻率爲

$$\omega_p \doteq \sqrt{\frac{4\pi n_0 e^2}{m\epsilon_0}}$$

式中 n_0 爲平衡狀態時電子的密度，e 和 m 各爲電子的電量和質量，ϵ_0 爲介電常數。每一種頻率對應一種振盪模式，當振盪的能量量子化時，這些量子化的振盪離子體，就稱爲離體子。

【霧】（Fog；Mist）

白天太陽照射地面，地面積貯了大量的熱。到了夜間，熱就開始向空中散發，使地表溫度降低，如冷至霧點以下，就會使接近地面之水蒸氣達到飽和，這些水汽就以空中的煙塵做核心而凝結爲細小的水滴，浮游於空中，見之如白氣，是爲霧。

霧滴的直徑約在 0.03 mm～0.04 mm 左右。它形成的條件必須是在風力微弱或無風時，同時要有吸濕性的凝結核，空氣也必須冷至霧點以下方可。

【霧冰】（Fog ice）

$0°C$以下（過冷卻）的濃霧中，霧的水滴在物體或冰的表面，凝凍成白色的不透明物。它不像霜一樣的結晶，是小粒狀的冰集合，風吹那一面，便迎著風而成長。

【霧室】（Cloud chamber）

即雲霧室，亦稱爲威爾遜霧室（*Wilson chamber*），乃一種輻射探測器。1897 年英國人威爾遜發現由於氣體的游離生成霧狀，從而可觀察 α、β 或 γ 射線等輻射線的徑跡（*track*）。當使裝有飽和水蒸汽

或酒精等氣體之小箱子（稱爲霧室）進行絕熱膨脹時，由於輻射線的電離作用，所產生的離子周圍形成一串列小水滴，如用適當的照明裝置，即可用肉眼觀察這些表示輻射線行徑的水滴，再用照相攝取以供研究之用。圖 19－11 是自簡單霧室上端拍攝的相片，細線是 α 粒子的徑跡。

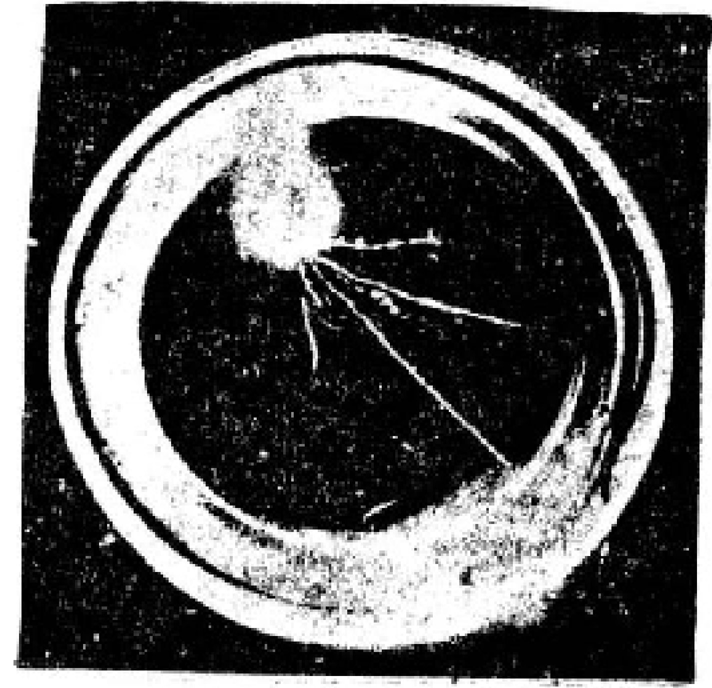


圖19－11

【類比計算機】（ Analog computer ）

一種物理的或電力的模擬裝置，能爲所欲解答的數學問題，建立相似的模式。一般可分爲三類：(1)模擬數目字的，(2)模擬物理現象的，(3)作爲自然界的各種尺度模型（ *scale model* ）。

它的原理是度量而非計數。集合一些電動零件和小的機械零件，即能模擬出任何需要的數學運用，所獲得的問題解答或以電壓階（ *vol - tage level* ），軸旋轉角度，或以一些其他形式的物理量表示，之後，在計算機的輸出單位，這些度量再轉換成數字。精確度低，普通只精確到千分之一，這是因爲輸出的度量只能精確至此數。此外在操作的過程當中，比例值（例如數字和電壓的比例）可能會改變或是偏離。

將凸輪、某種電位計（其線圈以特殊方法纏繞者）和其他類似的裝置應用在類比計算機上，則模擬複雜的數學函數特別方便。

類比計算機的大腦部分，由一大堆的齒輪、軸、凸輪和電路所構成。這些零件的每一件都模擬某些自然量，而所有的零件都以某種方法銜接在一起而能解一特定的方程式，或是模仿某個特別的物理現象。但它們有著與生俱來的缺憾即遲緩的速率，低度的精確性。同時，因爲類比計算機要解一個新的問題時，必須整個重新安排或者重新纏線，因此它又缺乏靈活性。但類比計算機實際的價值是在於解高度特殊化的及重複性的問題。像飛機自動導航器上，所使用的小型類比計算機能夠重複的

解著相同的導引方程式（ *steering equation* ），並以其典型且最佳的方式顯示結果。

第二類的類比器是用來模擬那些很難以數學方式描述的物理事件。導電紙（ *electricity-conducting paper* ）是個典型的例子。由紙片上電的傳導情形，能很貼切的模擬出熱的傳導情形，核反應器內中子的飛行情形，或者任何其他僅用方程式是難以研究出結果的物理現象。譬如，一根金屬棒上熱傳導的簡單情形，極易以數學方式描述出來；可是研究數根形狀複雜且熱源不同的金屬棒時，想要列出方程式就不容易了。雖然如此，但若採用導電紙類比器，則任何的形狀都能似剪刀剪紙一般很快的解決。熱源的模擬則是採用導線，這些導線能將電流射入導電紙上。只要測量幾處欲知點的電壓，即可有效的決定了其溫度。甚至於對新的形狀及變更過的熱源，也能迅速的得到結果。有時採用由電阻器形成的交錯網路，以替代導電紙的自然電阻，來模擬物理上的問題。遇到類似的三向度的問題時，則以盛滿導電液體的桶來解決。

最後一類是尺度模型。在某種意義上，任何種尺度模型都是部類比計算機。僅僅改變了大小，其他大部分的物理因素均保留不變。風洞（測定風壓對飛機的作用，通常均使用飛機模型以供實驗）及船塢模型是兩個很好的例子。在昂貴的飛機出廠試飛之前，從風洞的實驗中，可以修正飛機上許多的缺點。同時實際飛行中所預期的風速在風洞內可複製出來；其主要差別只是飛機變小而已。當然某些因素，例如機翼顫動的情形，並不能隨著尺寸的減小，而做同樣比例的變化；但是只要很謹慎的製出尺度模型，就能得到許多有價值的資料。

【類空向量】（ Space-like vector ）

在明可士基中的一四分量向量 A_μ，有 $A_\mu A_\mu > 0$ 的特性。

參閱“光錐（ *Light cone* ）”條。

【類空和類時區域】（ Space-like and time-like region ）

在時空的事件（ ct, x, y, z ）中，光的行進方程式是

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0$$

此方程式稱爲光錐。如以（ ct, x ）的投影平面表示則爲兩直線，如圖19－12 所示。

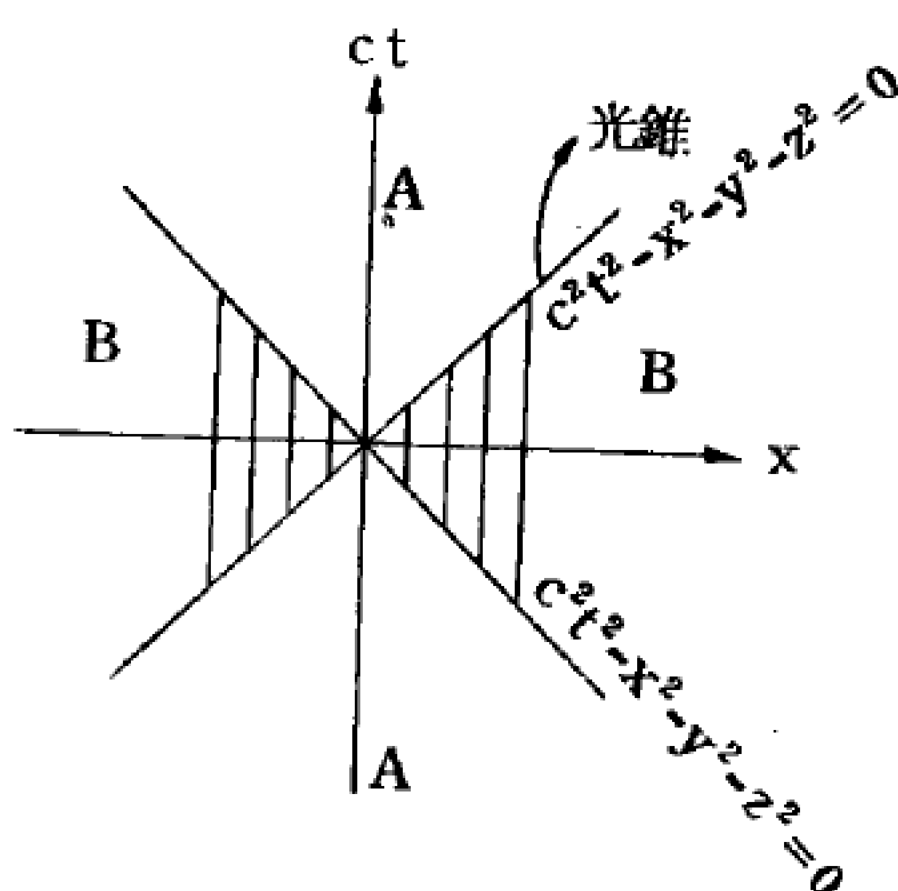


圖 19—12

凡代表事件的點，其投影在區域 A 者，爲

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 > 0$$

因爲時間所經的量，大於空間的量，故稱爲類時區域。反之，若在斜影部分 B 者，因爲

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 > 0$$

則稱爲類空區域。

在類時區域，因爲

$$v = \left| \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{t} \right| < c$$

所以在原點的信號可傳至（ x, y, z, ct ）點，在類空區域則不然。

【類氫原子】（ Hydrogen-like atom ）

氫原子只有一個價電子，故凡在滿殼（ *closed shell* ）外僅有一個電子的原子，如鹼金屬鋰、鈉、鉀、鉫、銫，均僅有一個價電子，此類原子即爲類氫原子。

原子光譜是由於電子躍遷所造成，而已構成滿殼的電子並不發生作用，僅與最外層的價電子有關，因此類氫原子的光譜構造極相類似。

【類氫離子】（ Hydrogen-like ions ）

根據波爾的頻率條件，原子光譜的譜線其波數爲

$$\bar{\nu} = \frac{1}{hc}\left(E_{n_1} - E_{n_2} \right)$$

$$= \frac{2\pi^2 \mu e^4}{ch^3} \cdot Z^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

式中 n_1 、n_2 爲主量子數，h 爲浦朗克常數，c 爲光速，μ 爲此系統的約化質量（ *reduced mass* ），e 爲電子電荷。

由上式，如 $Z = 2$ ，則上式所表者爲 He^+ 的譜線；若 $Z = 3$ ，則爲 Li^{++} 的譜線；如 $Z = 4$ ，則爲 Be^{+++} 之譜線，這些離子的光譜與氫原子光譜十分相似，故稱爲類氫離子。

【類鹼元素光譜】（ Alkali-like spectra ）

鹼金屬原子外層僅有一個價電子，此電子受熱或電子撞擊升至激發態後返回基態時放射出的光譜與氫原子光譜類似，其頻率亦可用類似芮得柏公式的形式表示：

$$\nu = \frac{R}{(n+p)^2} - \frac{R}{(m+p')^2}$$

R 爲芮得柏常數，n 、m 爲正整數，是原子軌道的主量子數，p、p' 稱爲遮蔽常數，其值小於 1 ，或稱爲芮得柏修正常數。

其他原子在高游離狀態中最外層只餘一個價電子時，所產生的光譜多與鹼金屬光譜相似，稱爲類鹼元素光譜，如 Ca^+ 、Mg^+ 、Al^{++} 、Si^{+++} 等離子的光譜。

【顛倒光譜】（ Reversal spectrum ）

又稱逆光譜。由橫列之黑線組成之光譜，光譜上有少數較黑線亮之譜線，情形與一般由白熱光源所產生之連續光譜相反。

【麗達】（ Lidar ）

一種新氣象雷射，它根據的是雷射原理，而在應用上則類似雷達。也就是說它先發射光線，然後再偵察這些光線碰上各種物體後反射回來

的光線。

史丹福研究所已經製成幾種麗達。這個工具可研究大氣，特別是同溫層。它的研究包括對灰塵微粒的觀察，看它們如何隨時間及地區變化，特別注意在流星雨出現的季節中，大氣中所含灰塵分量的變化。它研究灰塵微粒的形狀和性質；偵察晴空中的風暴。

史丹福研究所在 1963 年末試製成功第一個這種工具，能夠偵察眼睛看不見的煙霧層、雲層和大氣層。同時它也發現了一些普通氣象觀測技術注意不到的現象。

第一個氣象麗達的弱點是它需有15秒鐘後，才能儲積足夠能力來發送一個光波。因此它無法偵察大氣中的迅速變化。

一種新的麗達包含兩個雷射，它能夠發射出兩個輪流出現的光波，每一個的能量爲四千萬瓦（光量相當於一百萬個白熱電燈所發的光），兩波發射時間前後相差不到千分之一秒。

現在麗達系統中，最希望實現的一項改進是增加波動頻率。有了這種設備，氣象學家就能夠測定較大地區中的迅速變化。爲了實現這一個目的，研究人員正在對紅外線雷射進行實驗，這種器械需要用來產生波動的能力較小。

我們業已從事實上獲得充分證明，利用波動發射光線的麗達在雲層觀測方面的表現遠優於其他的觀測方法。例如，它可以經常偵察到 12,000 公尺高空以上的卷雲，這種雲太薄不易看見。它能測量 30公里以外積雲的高度。我們可能使麗達的狹小光線穿過雲層小孔，進而測定較高雲層的高度。我們還可能用它來測量下雨或下雪時的雲層最高限度。

麗達光線能穿入濃厚雲層數十公尺遠，對稀薄的雲層它可以穿入數公里遠。這種能力也許能使氣象學家進一步去研究各種雲層區域內，雲層發展和水點集中的情況。

另一項可能的應用是利用追蹤空中煙霧和火箭尾端噴射物的辦法來

測量高空風力。麗達還可能通過偵察灰塵微粒的運動，來記錄無雲區域中的大氣變化情況，這與雷達利用雨點和高空雪片分佈情況來推斷熱帶暴風雨的原理相同。

麗達是氣象學家的一個有力工具，它大大地增強了他們的視力，對其他的有價值的氣象觀測系統，它是一個補充力量。

二　十　畫

【懸鍊曲線】（Catenary）

在數學上爲 $y=\frac{a}{2}\left(e^{\frac{x}{a}}, e^{-\frac{x}{a}}\right)=a\cosh\frac{x}{a}$ 所表示的曲線。當一條懸鍊繫於兩等高支柱間，沒有任何載荷時，該鍊即因本身重量而下垂，所形成的曲線即是懸鍊曲線。若用 ρ、T_h、x、y 分別表示鍊上單位長度的重量、張力的水平分量、所考慮點與一支柱之距離、該點之下垂距離（以懸點間的水平連線爲準），則該鍊的形狀爲

$$y=\frac{T_h}{2\rho}\left(e^{\frac{\rho x}{T_h}}+e^{-\frac{\rho x}{T_h}}-2\right)$$

$$=\frac{T_h}{\rho}\left(\cosh\frac{\rho x}{T_h}-1\right)$$

【瀰散星雲】（Disperse nebula）

瀰散星雲的形狀是沒有一定的規則的，所以又叫做不規則星雲（*irregular nebula*）。這種星雲是由氣體而成，它係藉諸星體的輻射而生光輝。在其光譜中，有許多氫氣、游離氫及許多其他元素的放射線。獵戶星座（*Orion*）大星雲及昴星團（*Pleiades*）三葉星雲（*Trifid nebula*）均屬於此類。

在包含昴星團的星雲，其光譜與這一星團中最亮星球之光譜相同，此星雲是爲反射星雲（*reflection nebula*）。

在獵戶星座大星雲中，星球具有充足的熱以游離星雲，當電子從高能階落到低能階時，由電子的再被捕獲而發光，則所有星雲連同早期型的星球均有發射線，名之爲發射星雲（*emission nebula*）。

最能發射的星雲除其發射線的各別輻射外並含一些反射的星光。如反射和發射星雲的組織相同，則發射星雲的光度比反射星雲的爲大；如散播的星光相等，則發射星雲因氫和其他原子的螢光性，將再生夜光。

但實際上並非如此，而是在其表面均產生如一星球在10秒差距處絕對星等為－5的亮度。

【繼電器】（Relay）

又稱替續器，一般是根據電磁作用的原理做成的一種用電流控制的開關。繼電器由線圈、鐵芯和磁舌（組成電磁部分）及一組或多組互相絕緣的金屬簧片（接在相應的電路上）所組成。當線圈中通有一定的電流時，鐵芯被磁化而吸引磁舌，磁舌推動簧片，使簧片的接點有的分開有的閉合。當電流變化或中斷時，磁舌的動作隨之改變；簧片之間的離合亦發生變化，因而控制其所連接的電路。繼電器在形式上有圓形、扁形等幾種，在性能上有快吸快放、慢吸慢放等分別。此器是目前電氣事業及在自動電話機件中不可缺少的元件。

【蘇門答臘風】（Sumatra wind）

氣象學上有一種風，定名為蘇門答臘風。生活在馬來亞西南海岸的人，都知道每年六月至九月的時間內，即西南季風期間，在麻六甲海峽發生一種範圍小而強度大的風暴，向新加坡至麻六甲邦一帶的海岸吹送，在幾小時內突然帶來狂風和暴雨，發生雷暴，氣溫猛降，但過了一陣又突然地雨過天晴了。

這種蘇門答臘風本身是一線颮。所謂颮，是風的一種，即突然發生的一陣猛烈的風，歷時短暫，又突然消失了。線颮就是一條相當長的颮的線，有時長達幾百哩。它的形狀通常是一條低而黑暗的雲的線和急遽加速的風，天氣亦急遽變化，如暴雨、暴雷、甚至雹也隨伴發生。其原因是當地的暖氣流被更冷的氣團所置換，冷鋒前緣的氣壓急遽升高，而形成局部性的大風。暖空氣被擡升後，遇冷又產生了雲、雨和雹，加了大風，便構成聲勢洶湧的線颮了

夏季時分，東南亞正像爐火一般的熱；麻六甲海峽這一段，東有馬來半島，西有蘇門答臘山地，海峽又狹窄，因此經常在不穩定的低壓籠罩

之中，一遇到海面上吹來較冷的氣團，便會形成線颮，風向突然從南變爲西而吹向海岸，形成所謂的蘇門答臘風。

【觸發電路】(Trigger circuit)

一種電子管電路，此種電路在受到外部脈衝的作用時，便開始由一種狀態（電路未受到脈衝作用時的狀態）很快地過渡到另外一種狀態，此狀態對應著電路中另外的電流與電壓。有這樣一種觸發電路，此電路受到外部衝擊過渡到另一狀態以後，便保持著該一狀態直到下一次外部作用爲止。另一種觸發電路在受到外部衝擊的作用時，很快地過渡到新的狀態，然後在沒有外部作用的情況下又重新返回原始狀態，這就是所謂的自復觸發電路。觸發電路中的基本元件，除了電子管以外，還有電容和電阻；由一個狀態向另一狀態的過渡過程就在於電容器經過電阻和電子管而充電與放電（此處的電子管由輸入脈衝所開啓）。觸發電路可以用來作爲靈敏快動繼電器，如用來開動示波器中的掃描發生器，或用在雷達發射機中，每次掃描必依一定循環率作間歇性的發振，也可以用來獲得所需波形與寬度的短時脈衝電壓。此電路又稱機彈電路或發振電路。

【觸電】(Electric contact)

電流通過人或動物之身體，叫做觸電。觸電過深，筋肉便起抽筋現象（痙攣），或受燙傷，有時甚至於死亡。

引進家庭內之兩根電線內，只碰觸其中接地之一根是不會觸電的，但若接觸到未接地之另一根，或以潮濕之手碰觸電燈之開關，都可能會觸電。這是因爲地面或建築物材料潮濕時，電流便容易通過身體，流至大地。鳥停在電線上時，鳥之身體並沒有與大地接觸，電流不會流過鳥之身體，因此不會觸電。

防止觸電的方法有：

1. 改善導線之絕緣，不要以潮濕之手操作電器。

2. 電器應放置在乾燥處所。洗衣機等必須接地，萬一漏電電流會逸至大地，人體才不會有危險。

3. 修理配線或插頭時，必須先切斷電路。

【觸點電晶體】(Point-contact transistor)

觸點電晶體是現代接合式電晶體的先驅，此種觸點式電晶體和老式的晶體檢波器(*crystal detector*)有或多或少的關聯。由於觸點電晶體所具的優點，仍有某些方面應用它，但大部分已被現代的接合式電晶體(如圖 20 — 1)所代替。

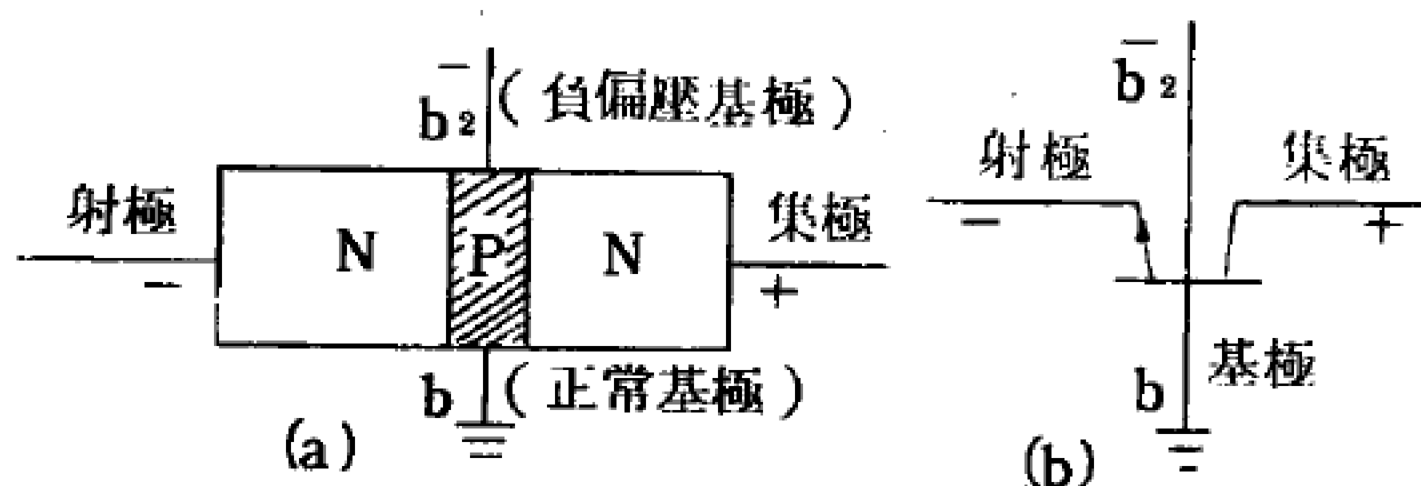


圖 20 — 1　接合式四極電晶體

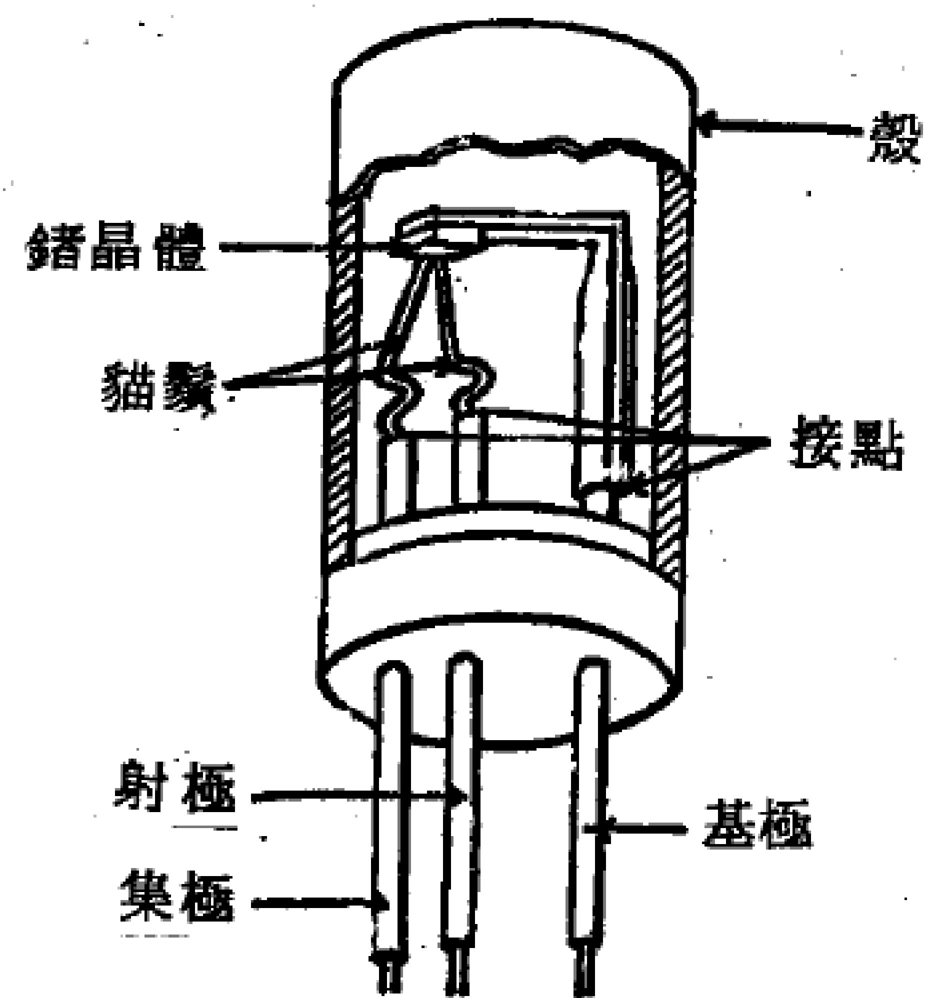
圖 20 — 2 為*N*式觸點電晶體的作用和結構。觸點電晶體有兩個尖的鎢電極 (通常稱為貓鬚) 與一鍺晶體相接觸，第三極 (基極) 接於*N*鍺晶體上，兩個貓鬚被稱為射極和集極，此情況與接合式電晶體相同。整個觸點電晶體都封在塑膠囊內，以防止受空氣的潮濕及污穢影響而變化。

雖然觸點電晶體的理論非常複雜，但是仍可從製造此電晶體的方法上了解。當兩貓鬚接觸在*N*鍺基極後，通瞬間脈衝電流於其上，由於接點的電阻很大，所以在接觸點產生高溫，將貓鬚與*N*鍺融在一起，而在接觸點下得一*P*型鍺 (如圖 20 — 2 (*b*))。有此兩個 *P*型鍺存在於基極*N*鍺中，即形成*P-N-P*型的電晶體。

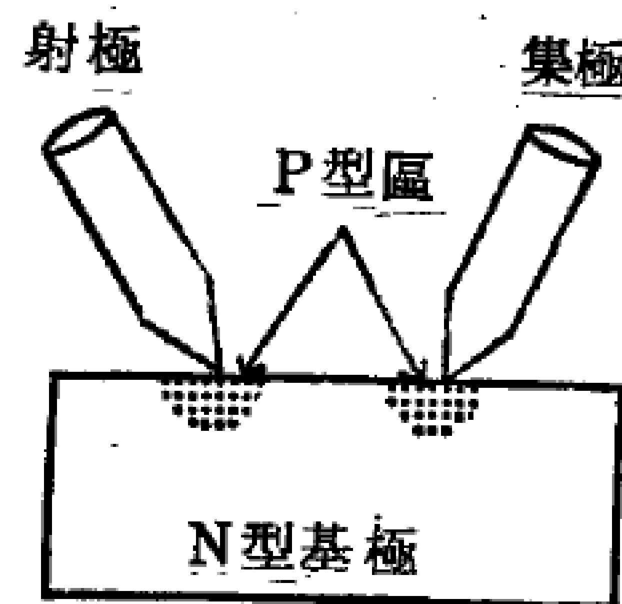
*P-N-P*觸點電晶體所應用的電路接線，其射極電路為順向偏壓，集極電路為逆向偏壓。在射極電流為零時，仍有相當的集極電流，並且其特性曲線稍微向上彎曲，這表示其集極電流變化受集極電壓變化的影響非常之大。當集極電壓增加時，集極電流也同時隨之增加，因此其輸出電阻較一般接合式電晶體者為低；此外觸點式電晶體的集極電流可大於射極

電流，此點正與一般接合式電晶體者相反，因此觸點式電晶體的電流增益α比接合式電晶體大8倍。

由於*P-N-P*觸點式電晶體的接觸點很小（*P*鍺在*N*鍺上只佔非常小的體積），其內部集極電容也就非常小，因此此種電晶體的α截止頻率，較早期的接合電晶體高（截止頻率就是電流增益降低至低頻率增益70.7%時的頻率）。結果觸點式電晶體容易製造100兆赫以上的放大器或振盪器，遠比早期的結合式電晶體爲優，近期發展的結合式電晶體，如四極電晶體、“*mesa*”電晶體在高頻方面有顯著的成就，而使觸點式電晶體很快成爲過時的產品。



(a)觸點式電晶體結構



(b)觸點區之特性

圖 20—2　觸點式電晶體

【觸鬚】（Catwhisker）

晶體檢波器中一根極細的導線。

【譜】（Spectrum）

一種可見的陳列，一種光相記錄，或一種表示某種輻射強度與其波長、能量、頻率、動量、質量或任何有關量的函數關係之曲線。

【譜帶】（Band）

在攝譜儀及光譜分析時，此名詞係用以說明某種分子在一定之情形下，產生某一形式之譜線。光譜中間隔著整齊之線條卽爲帶。

【譜斑】（Flocculi）

在太陽分光圖上，太陽表面上或明或暗之花紋稱爲譜斑。這些花紋

均爲氣體，明亮者則較其四周之溫度高，暗者則較低。這是氣雲由光球面上升流動的緣故；黑子附近或黑子發生的前後部分最多。明亮之譜斑通常爲鈣，在太陽黑子帶內及太陽較高氣層中特別顯著。較暗者多屬氫，形狀常呈細長及彎曲狀，繞於黑子周圍，而有“海濱”（*plages*）之別稱。

【譜線】（Spectral line）

在原子裏有許多電子軌道，每條軌道代表一定的能量。當電子從高能的軌道落到低能的軌道時，多餘的能量就變成光子以電磁波的方式放出。反之，當電磁波照射到原子時，原子裏的電子也可能吸收一個光子而從低能的軌道跳上高能的軌道。軌道所代表之能量既然一定，放出來的光子所含能量，也就是電磁波的頻率也有一定，這種頻率一定的電磁波叫做譜線，一種原子既有許多能量不同的軌道，發出來的譜線也就有許多條，這就是原子的光譜。

茲將譜線之種類說明如下：

1.明線或發射譜線（*bright or emission lines*）——係因原子由較高能量至較低級，或原子內之電子由較大軌道降低爲較小軌道時，即出現此光譜。

2.黑或吸收譜線（*dark or absorption lines*）——原子情況適與明線或發射譜線時相反。此係原子能之吸收作用，一部分電子由較小軌道升至較大軌道時出現此種譜線。

譜線極易因不同狀況而作不同之反應，這些效應如：

(1)量效應（*quantity effect*）——已知元素之譜線其強度與元素之量成比例（即極限譜線*ultimate lines*），亦即由輻射源內之輻射材料總量而成，故譜線與此輻射材料總量成比例。

(2)溫度效應（*temperature effect*）——在光譜中一定溫度有一定之溫度譜線（*temperature lines*）。反之，由譜線亦可研究輻射源

之溫度。

(3)壓力效應（*pressure effect*）——高壓之氣體，其譜線較寬且朝紅端移動，其位移量與總壓力成比例。

【譜線之自蝕】（Reversion of line）

在暗線光譜中某元素所佔的暗線位置，即是其發射光譜中所生明線的位置。此低溫物質吸收自身熾熱時所發光波而使其他光波透過的現象名為譜線之自蝕。

【譯電碼】（Code conversion）

即由明碼譯為密碼（*incode*）或由密碼翻譯為明碼（*decode*）。

【警報器】（Siren）

警報器如圖 20－3所示，上部有上下重疊的兩個鐵板。上面均開有很多孔。下面的板固定於圓筒，上面的板可以旋轉。當上面的圓盤旋轉時，由下方送上的高壓空氣，會依二圓板上孔的重疊與否，而使空氣時而暢通，時而不通，由於這些週期性現象，造成空氣有規則的疏密部分而發出聲音。

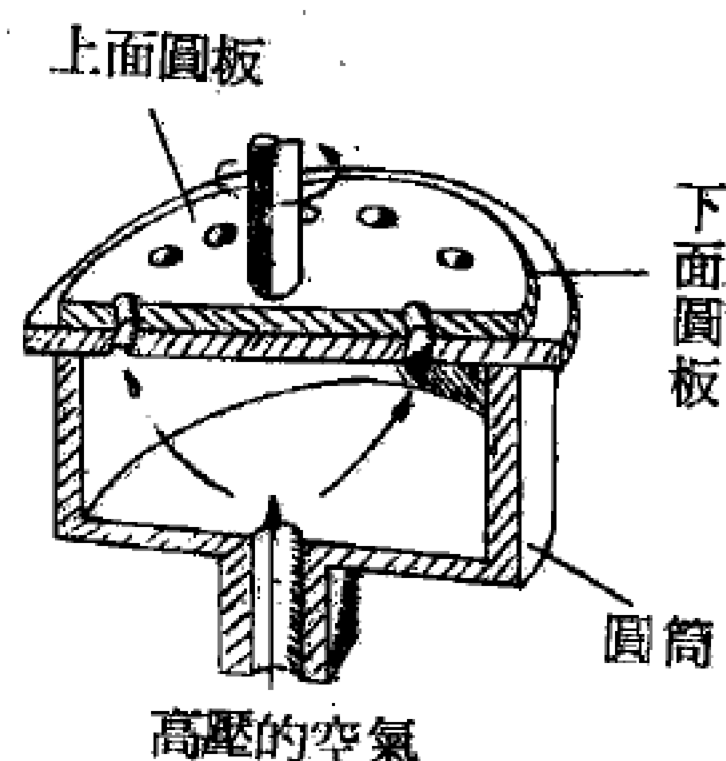


圖 20－3　警報器

【釋放原理】（Principle of release）

在非自由系運動時，作用於其上之力，依性質可分為主動力和約束力。而釋放原理的內容就是：可以除去各個約束，同時給系以這些約束相當的約束力，而不破壞系的原來的動靜狀態。換言之，用約束力來代替約束作用，就可把非自由系問題變成自由系來處理。

由於約束的消除，增加了系的自由度數，即改變了系的運動性質，而隨後所加的約束力對於運動的結構則沒有影響，所以釋放原理的應用是具有條件性的。不過在靜力學中，由於沒有運動存在，釋放原理才有眞正的幫助。

【鐨】(Fermium；Fm)

原子序爲100的元素。

【鏷】(Protactinium；Pa)

原子序爲91的放射性元素。

【鐠】(Praseodymium；Pr)

原子序爲59的稀土元素。

【霰】(Sleet)

雨滴降落途中，溫度突降至0°C以下，遂冷凍成冰珠，稱爲霰。霰有雪霰和冰霰。雪霰是雪的結晶周圍，附有過冷卻的水滴，成爲白色冰粒。冬季常伴著雪一起落下。冰霰是以雪爲中心，周圍附有冰膜，成爲半透明的冰粒，偶而會隨陣雨而落下。

【飄移式晶體管】(Drift transistor)

利用電荷飄移的方法來輸送電流的一種晶體管。

二十一畫

【攝氏溫度計】(Celsius thermometer)

為攝氏(*Anders Celsius*)所創用的溫度標度為刻度的溫度計。以水之凝固點為零度，水之沸點為100度，其中等分為100等分。科學上常採用之。

【攝動】(Perturbation ; Disturbance)

在牛頓以前，所有行星的不規律都是由觀察而發現的。周轉圓和偏心圓必須組合的理論，是以後才用來適應它們的。但是這樣做了以後，立即有新的觀察揭露了新的矛盾，所以這理論不得不經常地修改，而這常常是落後的。大部分這些表面上的不規律，只是由於行星環繞太陽的橢圓運動和在這些軌道上的速度變化而來的。牛頓認為這是由於太陽吸引的擾亂效應，這也就是古人所知的攝動。研究月球的運行是相當複雜的，即使偉大的牛頓也曾說這使他頭痛；他發現兩種新的不規律；依照理論，這是月球應該有的，只不過是還未曾被人觀察到而已。其後這些不規律被發現了，於是天文史上第一次，理論跑到觀察的前面去，而不是逡巡地拖在後面了，現在我們也不需再時常去修改理論了。每一個行星有一套理論，而完全不與其餘的行星發生關係的事情已經不存在了，我們只有一個理論可以適用於所有的行星和衞星，也可以適用於彗星和流星，對於其他在太陽系內或地球上或地球裏面所發現的物體也都適用。我們確實知道有一對恆星的軌道證實了同樣的理論，這對恆星比最遠的行星還要遠上幾百萬倍，是望遠鏡盡其可能所望到的地方。不管到那裏都是同一定律，同一規則，那就是萬有引力定律(*law of universal gravitation*)。

【攝像管】(Camera tube)

電視機中藉光感作用的拾像管。攝像管有許多種，但主要工作原理

相同。其中一種叫光電發像管。它包含三個基本部分，即一個嵌鑲板，一個集電環和一枝電子槍。

嵌鑲板是用一塊塗了一層絕緣物質的金屬板製成的。在絕緣物質的表面上，嵌著成千上萬個銀製的小球——一些小銀圓點，每個小銀球上鍍著一層特別的物質，例如銫（光電管材料），所以每一個銀點的作用就像一個小光電管一樣。嵌鑲板是由數以千萬計的這樣的小光電管做成的。

當光線照在一個光電管上，電子便離開它。光線越強，失去的電子越多。由於電子帶負電荷，光電管失去電子後，就使它自己帶正電荷了。所以任何投影在嵌鑲板上的圖像，將變成一幅正電荷的分佈圖。我們可以說，這圖像已被分裂成大小不同的電荷點子。小光電管所放出的電子，由集電環收集，移出光電發像管。

電子槍由燈絲及帶小孔的金屬片組成。燈絲作爲電子的來源，電子從燈絲飛出來，向各個方向跑，但它們的大部分被金屬板捕捉。可是，它們當中有一些穿過小孔。這情形就像在發光的燈泡前放一有小孔的卡片，光線由小孔穿過一樣。這條電子流細如頭髮，被兩套金屬片扭來扭去。這兩套金屬片，放置互成直角。

第一套金屬片，使電子流彎上彎下。把數量不同的正電荷和負電荷放到金屬片上，就可產生這彎曲作用。舉個例來說，如果正電荷放在上面的金屬片，而負電荷放在下面的金屬片，電子流（它由帶負電荷的電子組成）就會彎向在上的金屬片而離開在下的金屬片。如果正電荷和負電荷的數量改變了，電子流彎上彎下的程度也有所改變。

第二套金屬片使電子流彎左彎右。當兩套金屬片上的電荷數量改變時，電子流可被引至嵌鑲板的任何部分。電子流就這樣從嵌鑲板的左上角開始掃起。它從左到右掃過第一排的光電管，然後回到左邊，掃射第二排，一直把整個嵌鑲板全都掃過。

這樣掃描的目的，是當光線照射時按次序給每個光電管補充電子。

假設有一個光電管失去了 1,000個電子，它向構成嵌鑲板支架的金屬板吸引 1,000 個電子。但因爲金屬板上的絕緣物質，這 1,000 個電子並不能進入光電管。而當由電子槍來的電子流補充了光電管，金屬板上那 1,000 個電子又被驅散。由金屬板被驅走的電子形成一電脈衝，這電脈衝與照射到光電管的光線的數量成正比。當光線強，電脈衝也強。

當電子流逐個光電管掃射，電脈衝便快速地一個接著一個。它們被增強用以調制電視載波，就像由無線電微音器來的電脈衝用以調制無線電載波一樣。合成的電波在電視接收機中引起電子運動，即引起電脈衝。在電視接收機的屏幕上，電脈衝再變爲圖像。

【攝譜儀】(Spectrograph)

利用照相或光電記錄光譜線，以代替望遠鏡之儀器，稱爲攝譜儀。

【攜人太空飛行系統】(Manned space flight network ; M.S.F.N.)

主要是支援攜帶太空人的太空任務，像水星 (*Mercury*) 計劃、雙子星 (*Gemini*) 計劃和阿波羅 (*Apollo*) 計劃等，這些設施是在日新月異的改進中，以期配合愈來愈複雜的太空任務。有些站還裝置有特爲阿波羅計劃用的儀器。另外全球性的衞星追蹤站是“史密松南”太空物理觀測臺 (*Smithsonian Astrophysical Observatory*) 各站都裝有巨大的高精度“ *B - N* ”望遠像機 (*Baker-Nunn high precision telescopic camera*)。

【蘭尼定律】(Lane's law)

純氣體之溫度與其半徑成反比。當一恆星冷卻時立即收縮，但其表面則增加溫度。此係十九世紀後半期美國科學家蘭尼所闡述，故以人名。但此理論在某些場合爲矛盾。

【蘭道】(Lev Davydovich Landau 1908—1968)

生於俄國巴庫猶太人家。十四歲入巴庫大學，兩年後轉列寧格勒大

學，十九歲得博士學位。1927 年至 1929 年在列寧格勒理工研究所研究，1929 年出國一年半，訪問丹麥、德國、荷蘭、英國等各著名研究中心，在丹麥哥本哈根追隨波爾，並自認是其學生。1932 至 1937 年主持卡爾可夫（*Kharkov*）的理工研究所理論組，並與 *Lifshitz* 開始合著一套九本理論物理全集，今已譯成十國以上文字，爲從事理論物理研究必備的參考書，其中部分在蘭道死時尚未完成。1937 年赴莫斯科任物理問題研究所理論組主任，對低溫物理有重大貢獻，特別是液態氦的特性。1946 年入選蘇俄科學院院士，丹麥、荷蘭及美國科學院外籍院士，一生發表百餘篇論文。蘭道的興趣和貢獻包括固態物理學（蘭道能階）、離子體、流體力學、天文學、核子物理學、量子力學及量子場論（蘭道定則）。1960 年獲第二屆倫敦（低溫物理大師）獎，1962 年得諾貝爾物理學獎，但因同年元月七日遭遇車禍，腦震盪未癒，不能親自領獎，延至 1968 年四月一日不治，逝於莫斯科。

【蘭道、金柏方程式】（Landau- Ginzberg equation ）

在*B.C.S.*理論出現之前，蘭道和金柏對於超導性曾提出一種現象上的解說。這理論的基本觀念是源於有關超導體的古老雙流體模型，此種模型電子視爲存在於二種狀態之一：一是正常狀態，另一是超導狀態。超導性電子能攜帶永不耗失的電流，正常電子則吸收熱能。然後他們以波動方程式 $\psi(\vec{r})$ 描述超導體的狀態，利用 $\psi(\vec{r})$ 可計算超導性電子的分佈率，即

$$n_s(\vec{r}) = \psi^*(\vec{r})\,\psi(\vec{r})$$

由於接近臨界溫度時，超導性消失即 n_s 將變成零，他們研究在靠近臨界溫度時超導體系統的自由能，並以 n_s 展開，同時將自由能對 $\delta\psi$ 、$\delta\psi^*$和 $\delta\vec{A}$（任意的變分量）予以變分處理，求取其最小值。則由

$$\delta F = 0$$

F 爲自由能；$\vec{H} = \nabla\times\vec{A}$ 磁場及一些技巧上的處理，最後可以得到有關

$\psi(\overrightarrow{r})$和超導性電流$\overrightarrow{j}$的方程式

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\nabla-\frac{iq^*\overrightarrow{A}}{\hbar c}\right)^2\psi+\frac{m^*a}{mn^*}\psi+\frac{m^*b}{mn^*}\psi^*\psi\psi=0 \qquad (1)$$

$$\overrightarrow{j}=\frac{n^*\hbar q^*}{2im^*}\left[\psi^*\left(\nabla-\frac{iq^*\overrightarrow{A}}{\hbar c}\right)\psi-c.c.\right] \qquad (2)$$

式中q^*、m^*及n^* 可視爲電子的有效電荷、有效質量及有效密度。若設$q^*=-e$，$m^*=m$，$n^*=n$，代入（1）、（2）式即可得1950年的蘭道、金柏方程式。若以$q^*=-2e$，$m^*=2m$，$n^*=\frac{1}{2}n$代入（1）、（2）式即可得到目前所用的蘭道、金柏方程式。

這一對方程式，若q^*、m^*、n^* 已知，再由二實驗以定其中二參數a、b之值，即可解出$\psi(\overrightarrow{r})$，進一步可瞭解超導體的狀態。

【蘭道定則】（Landau rules）

1959 年蘭道由分析范曼圖，而導出與圖相對應的散射幅應在何種條件下具有奇異點，此條件稱爲蘭道定則，或蘭道條件。1960 年美人客考士基（*Cutkosky*）將它推廣，而得到與任何范曼圖相對應的散射幅之奇異點，其中斷函數（*discontinuity function*）計算方法，稱爲客考士基定則。這種計算中斷函數的方法，在求散射幅的色散關係時至爲重要。

【蘭道阻滯】（Landau damping）

電子所生的空間電荷波，電子以波的相速度運動時的阻滯現象，稱爲蘭道阻滯。這很像在海浪中玩衝浪板的人，如原爲靜止，當浪經過時他只少許來回運動，但當它的速度和波的相速度差不多時，則將隨著波峯而走，在這種情況時，已增加它的能量而減少波的能量。

【蘭道能階】（Landau levels）

設想自由電子在磁場中，根據量子力學的計算，其電子狀態的能量將爲量子化者，該系統量子化的能階可表之爲

$$E_l = E(n+\gamma, K_z)$$

式中n為量子數，γ為常數，K_z為沿z軸的波向量，此即為蘭道能階。

由量子力學的計算，可直接求出E_l的形式。自由電子在磁場中的薛丁格方程式為

$$\frac{1}{2m}\left(\frac{\hbar}{i}\nabla-\frac{e}{c}\vec{A}\right)^2\psi=E\psi \qquad (1)$$

式中$\vec{A}$為向量位。設$\vec{A}=(0, H_x, 0)$，則磁場H沿z方向（因為$\vec{H}=\nabla\times\vec{A}$），（1）式變為

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\left(\frac{\partial}{\partial y}-\frac{ieH}{\hbar c}x\right)^2\psi+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{2mE}{\hbar^2}\psi=0$$

其解為

$$\psi(x, y, z)=e^{i(\beta y+K_z z)}u(x) \qquad (2)$$

在z方向的運動與自由電子相同，而在xy平面上的運動方程式則為

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\left(\frac{eH}{mc}x-\frac{\hbar\beta}{m}\right)^2u(x)=E'u(x)$$

$$E'=E-\frac{\hbar^2}{2m}K_z^2$$

這方程式相當於簡諧運動方程式，其頻率為

$$\omega_H=\frac{eH}{mc}$$

其中心點在

$$x_0=\frac{\hbar\beta}{\omega_H m}$$

因此

$$E'=\left(n+\frac{1}{2}\right)\hbar\omega_H$$

所以

$$E = \left(n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_H + \frac{\hbar^2}{2m} K_z^2$$

此即爲蘭道能階。因爲 $0 < x_0 < L_x$

即 $$0 < \beta < \frac{m\omega_H}{\hbar} L_x = \frac{eH}{c\hbar} L_x \qquad (3)$$

而由（2）式，β 被量子化，其單位爲 $\frac{2\pi}{L_y}$，所以適合於（3）式的 β 值只有 $P = \frac{L_y m \omega_H}{2\pi\hbar} L_x$ 個。因此對應於某特定的 n 和 K_z，每一個蘭道能階均有 P 個簡併態。

【蘭德 g 因數】（Lande g factor）

因異常則曼效應（*anomalous Zeeman effect*）而分離的能階，其能量爲 $$E = E_0 + gMh_0$$
$$h_0 = \hbar eH / 2mc$$

式中 H 爲磁場，M 爲磁量子數，比例常數 g 稱爲蘭德 g 因數。g 值爲一有理常數，與電子的總角動量 J、總軌道量子數 L、總自旋 S 都有關係。g 值在 1 與 2 間變化，例如無自旋時 g 值爲 1，無軌道角動量時 g 值爲 2。

當電子與電子間的交互作用甚大於軌道、自旋交互作用時，即形成 L-S 耦合。在這種情形時，g 值的公式爲

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$$

當軌道、自旋交互作用大於電子與電子間的交互作用時，即形成 jj 耦合。在兩電子的 jj 耦合情形下，總角動量 $J = j_1 + j_2$。於是

$$g_J = g_1 \frac{J(J+1) + j_1(j_1+1) - j_2(j_2+1)}{J(J+1)}$$
$$+ g_2 \frac{J(J+1) + j_2(j_2+1) - j_1(j_1+1)}{J(J+1)}$$

g_1 與 g_2 的值則爲

$$g_i = 1 + \frac{j_i(j_i+1)+S_i(S_i+1)-l_i(l_i+1)}{2j_i(j_i+1)}$$

【護套】(Cladding)

護套緊包在核燃料的外面，形成燃料元件的防護層，它防止燃料之腐蝕，防止分裂產物滲入冷卻劑中。鋁或鋁合金、不銹鋼以及鋯合金都是護套的通用材料。

【護極星】(Guards)

參閱“小熊星座(*Ursa Minor*)”條。

【護箱】(Coffin)

一個屏蔽很厚的桶，用以裝運用過的燃料元件。有些護箱重達 75 噸。

【躍遷】(Transition)

當一個原子吸收一電磁輻射量子時，則其能量狀態由一低能階跳到另一高能階，如此即稱之爲躍遷。

【躍遷率】(Transition rates)

一在 E_i 能量之受激態孤立原子，此原子最終將作自發性躍遷 (*spontaneous transition*)從此能量狀態轉變至一低能量 E_k 狀態，並發射一電磁輻射量子，此自發性發射躍遷率 (*transition rates for spontaneous emission*)，即爲原子於單位時間內作此等躍遷之機率。

【躍遷機率】(Transition probability)

電子在原子中有一定的能階，核子在原子核中也有類似的情形。當這些電子或核子受到擾動時，會從一能階躍遷到另一能階，或者也會從高能階降至低能階，這些躍遷發生的機率稱爲躍遷機率。躍遷機率決定於擾動時的相互作用，躍遷前後的狀態，和擾動的時間等因素。例如一

原子受到電磁波的作用由基態躍遷到激發狀態的情形。

在物理上應用最多的是單位時間的躍遷機率，其定義是將躍遷機率對所有可能的終態積分再以作用時間除之。以數學式表示，設H'爲微弱之外界擾動，$|m>$爲初態，$|k>$爲終態，$\rho(k)$爲單位能量中的終態數（終態的能量密度），則單位時間的躍遷機率ω爲

$$\omega = \frac{2\pi}{\hbar}\rho(k)|<k|H'|m>|^2$$

此式表示ω與作用時間無關。這是費米第二黃金定律。

【轟擊】（Bombardment）

如電子管從陰極釋出之電子向屏極撞擊，輕微的會引起二次放射，嚴重的屏極內的氣體會釋出，破壞眞空。

【鐳】（Radium ; Ra）

鐳原子序爲88，屬於放射性元素之一。

當一個鈾原子在接連的數階段放出三個α粒子和二個β粒子，經一連串中間的放射性元素即成鐳。鈾的原子量約爲238，而核電荷亦即原子序爲92，它變成鐳時失去12單位的質量和4單位的電荷，而成爲鐳－226的質量和88個電荷。鐳緩慢地自行釋放一個α粒子轉換爲放射性的氣體氡，後者再自行經一連串的變化直到轉換至所謂鐳G（*radium G*）始停止。

鐳的半衰期爲1,600年，它的放射性約爲鈾元素的二百萬倍以上。其金屬呈現螢光，遇空氣氧化成黑色，溶於水生氫氣，能灼傷皮膚。

目前自然界所發現的，最普通的是原子量226的同位素。現在發現有極少量的鐳與鈾同存於瀝青鈾礦、釩酸鉀鈾礦及其他礦物中。

鐳可放射三種不同的射線，即α、β、γ射線，α射線的質點是帶正電的氦離子，β射線是以光速運動的電子，γ射線就是X光，它的波長極短，而穿透力特強。

鐳經常被用作發光的本源，以及用作醫學和放射線攝影術所需的輻射源。工業上可用以透視金屬成品。

【鐿】(Ytterbium ; Yb)

原子序爲70的稀土金屬元素。

【鑀】(Einsteinium ; Es)

原子序爲99的化學元素，有放射性。

【鐵】(Iron ; Fe)

原子序爲26的化學元素。

【鐵－59】(Iron － 59)

鐵－59 是鐵元素的放射性同位素。它可直接量度被人體消化腸道所吸收的鐵含量，以及被用來量度紅血球形成的速率、壽命和總體積。

例如，首先把微量的鐵－59由手臂靜脈注入，然後用多支探針的閃爍計數器，在骨髓、肝臟及脾臟等部位量度鐵－59 的放射強度，再以曲線示出鐵－59 隨時間變化的分佈情況。這些分析得來的數據若與血液內鐵－59 的含量相對照，我們就能獲得這些部位紅血球生滅的情形。

【鐵芯變壓器】(Iron-core transformer)

變壓器之磁路藉鐵片全部或局部作通路，如圖 21—1 所示，中間的直線表示鐵芯，一邊是初級線圈，另一邊是次級線圈。線圈愈多，電壓愈高，故可以從圖上所畫線數的多少來大致辨別電壓的高低。

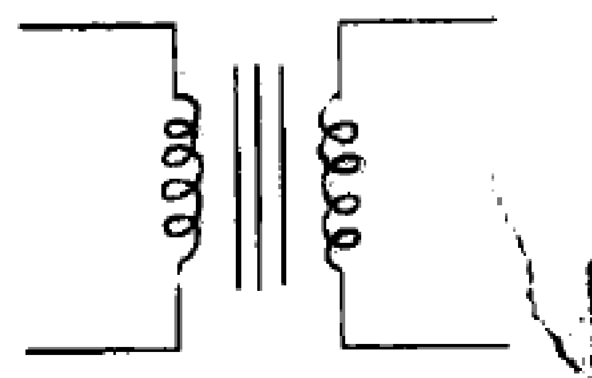


圖 21—1

【鐵損失】(Iron loss)

指鐵芯與磁力線相割所引起之功率損失。

【鐵柘榴石】(Iron garnet)

鐵柘榴石是方形鐵淦氧磁的絕緣體，可用一般式$M_3Fe_5O_{12}$表之，式中M是三價金屬離子，Fe是三價的鐵離子。例如釔鐵柘榴石$Y_3Fe_5O_{12}$

即爲著名的Y·I·G·，在此Y^{+3}具有抗磁性。Y·I·G·的淨磁化強度是由於Fe^{+3}離子兩個相反磁化晶格的合量。在絕對零度時，每一個鐵離子生出±5 μ_B（μ_B爲波爾磁元）的磁場強度，但在每一公式單元（formula unit）裏，位在d座的三個Fe^{+3}離子，沿一個方向磁化，兩個在a座的Fe^{+3}離子，則沿相反的方向磁化，於是合成每一公式單元有$5\mu_B$。d座的離子對a座所產生的平均磁場強度爲

$$B_a = -(1.5 \times 10^4) M_d$$

式中M_d是d座的磁化強度。一般所見的Y·I·G·的居里溫度爲559°K，是由於$a-d$的交互作用。

在Y·I·G·裏，唯有鐵離子磁化，因爲這些離子在$L=0$態有一球形的變化分佈，它們與晶格變形和聲子的交互作用很微弱。

在稀土鐵柘榴石裏，M^{+3}是三價的順磁稀土離子，而位於c座，其磁化與$a+d$座的鐵離子的淨磁化反向。在低溫時，三個稀土離子的聯合磁矩，要比五個Fe^{+3}離子的淨磁矩顯著。但是微弱的$c-a$和$c-d$耦合，使稀土晶格的磁化，隨溫度的增加而急速消失，總磁矩降爲零之後，才隨Fe^{+3}離子磁矩的逐漸顯著再度增加，如圖21—2所示。

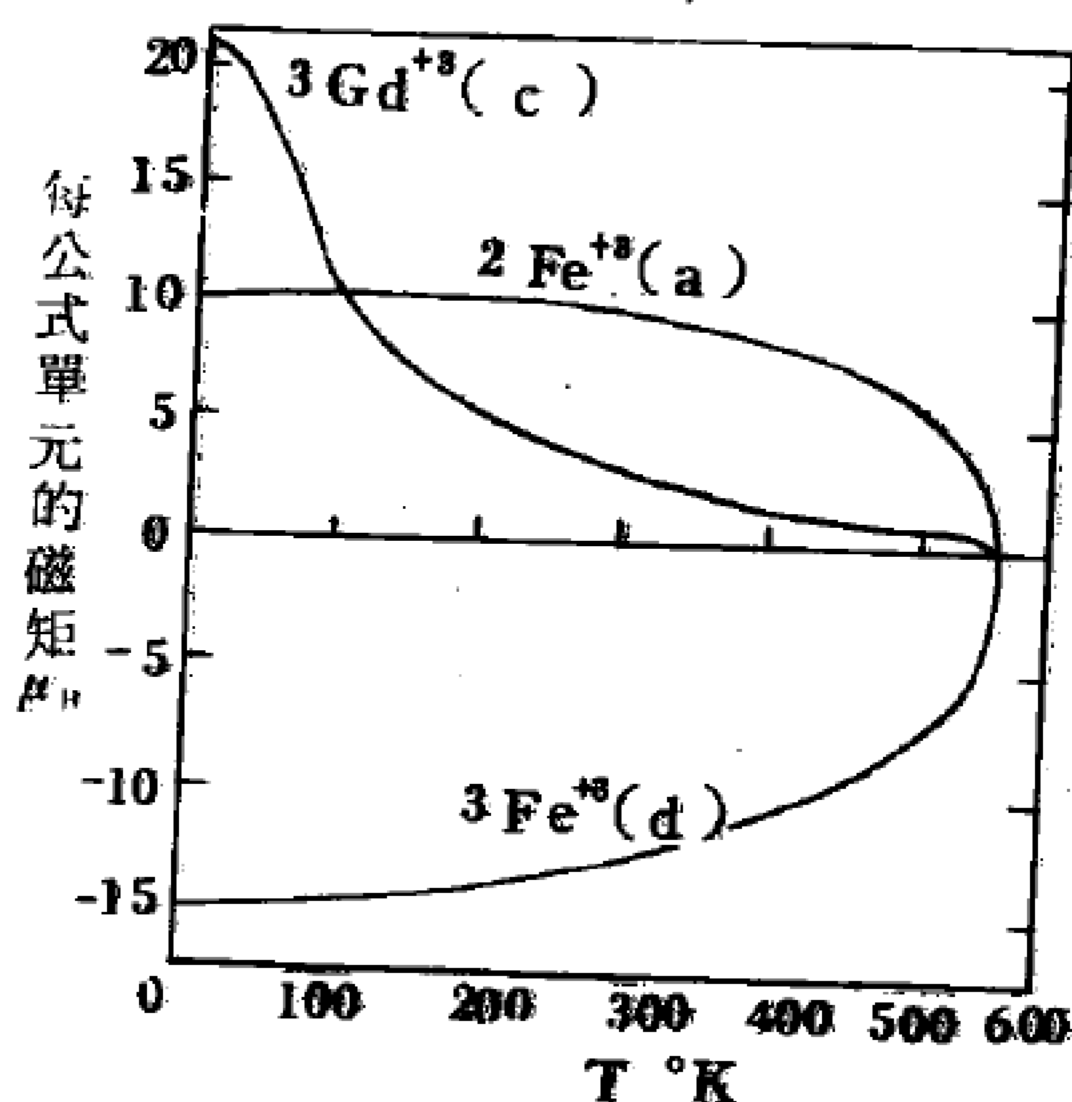


圖21—2
R·Pauthenet計算鐵柘榴石晶格的磁化強度時，總磁矩接近280°K時爲零，居里溫度約在560°K。

【鐵淦氧磁石】（Ferrimagnets）

許多鐵磁物晶體在絕對零度時的飽和磁化強度，並不等於構成晶體的離子在平行排列時的總磁矩。最有名的例子是磁鐵礦Fe_3O_4或$FeO\,Fe_2O_3$。其中Fe^{+++}離子在$S=\frac{5}{2}$的自旋態，所以每個離子生5 μ_B（μ_B爲

常用的磁單位，稱爲波爾磁元）的飽和磁矩。Fe^{++}離子在$S=2$的自旋態時其飽和磁矩爲$4\mu_B$。因此如所有鐵離子的自旋都平行時，每個Fe_3O_4應有$2\times5+4=14$個波爾磁元的飽和磁矩，但測得的數值卻只有4.1。倪耳（*Neel*）指出，假如假設所有的Fe^{+++}離子互相反平行，只有Fe^{++}的離子產生磁矩，就與實驗的結果相符。倪耳的模型從中子繞射已得證明。具有像Fe_3O_4鐵礦這種磁性質的晶體稱之爲鐵淦氧磁石。由上可知，鐵淦氧磁石是一種具有反鐵磁性的形態，不過兩個次晶格（*sublattice*）的磁矩不同，因而含有合成的磁化量。

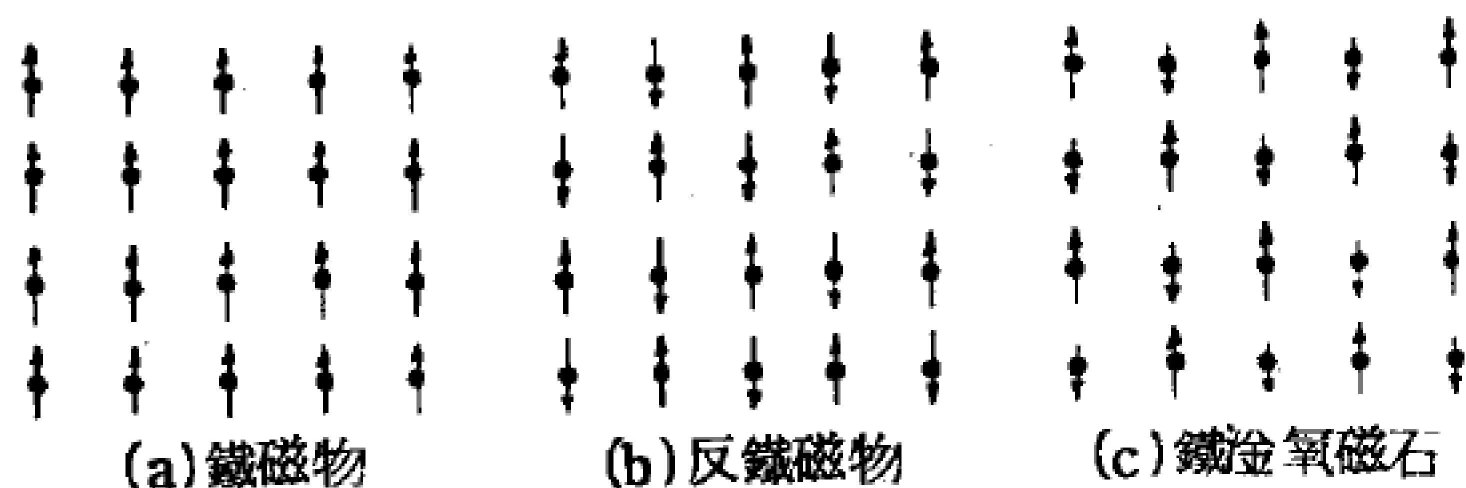
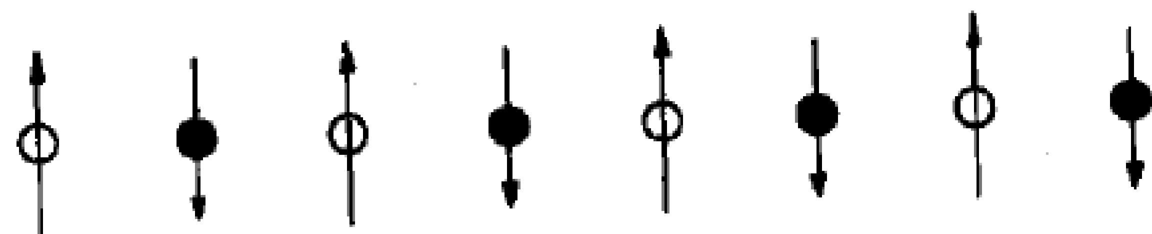


圖 21—3

我們可以用圖 21—3 表示鐵磁物、反鐵磁物及鐵淦氧磁石不同之處：在圖 21—3 (*a*)中所有磁矩都成平行，在圖(*b*)中相鄰離子形成反平行的狀態，在圖(*c*)中相鄰離子的磁矩不相等，這種現象通常稱之爲鐵淦氧磁序（*ferrimagnetic order*）。

【鐵淦氧磁性】（Ferrimagnetism）

爲磁化型式之一種。它與反鐵磁性（*anti-ferromagnetism*）相似，其朝向某一方向的原子或離子的磁偶極矩（*magnetic dipole moment*），不同於朝向相反方向者的磁偶極矩，而有淨磁化（如圖 21—4），這些物質稱爲鐵淦氧磁物（*ferrite*）。通常以化學式$MOFe_2O_3$表示之，式中M代表Mn、Co、Ni、Cu、Mg、Zn、Cd等元素。假如M爲Fe，則此一物質爲化合物Fe_3O_4，或稱爲磁鐵礦（*magnetite*）。


圖 21—4 不同物質中磁偶極矩的取向

【鐵淦氧磁物】（Ferrite）

參閱"鐵淦氧磁性（*Ferrimagnetism*）"條。

【鐵電物】（Ferroelectrics）

即使在無外界電場存在時，鐵電物的結晶亦能呈現電雙極矩的性質。在鐵電性狀態中，晶體的正電荷中心與負電荷中心不相重合。典型的鐵電物極化曲線如圖 21—5所示，P_s代表自發極化量。這種滯後現象是鐵電物的特徵之一。鐵電物的鐵電性通常都在某一溫度以上消失，這稱爲轉變溫度，高於轉變溫度的晶體是在所謂順電狀態，與順磁性相似，意即當溫度增高時，介電常數急遽下降。在轉變溫度或居里點（*Curie point*）T_c，晶體由低溫的極化狀態變到高溫的非極化狀態，熱運動有摧毀鐵電次序的趨勢。鐵電物可分爲好幾類：第一類有若歇耳鹽類（*Rochelle salt*）和其他同型的鹽類，它是一種構造非常複雜的晶體，到目前還不太了解它的特性；第二類包含用氫鍵結合的晶體，其中質子的運動是構成鐵電性的原因，這種稱爲*KDP* 類；第三種包含離子晶體，例如$BaTiO_3$和$LiTaO_3$等，這類晶體的結構就顯示有鐵電性。

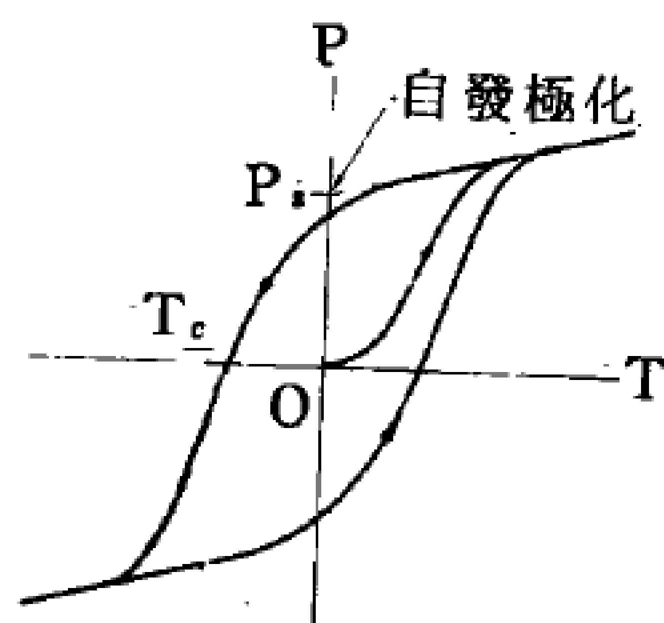


圖 21—5

【鐵電效應】（Ferroelectric effect）

謂某些晶體會產生瞬時的雙極矩的現象。

【鐵酸鋅】（Zinc ferrite）

鐵酸鋅的化學結構爲$ZnO \cdot Fe_2O_3$，可以說是氧化鋅（ZnO）和三氧化二鐵（Fe_2O_3）的化合物。也是一種鐵淦氧磁物，具尖晶石晶體構造。此化合物的特性乃在於有零飽和磁化（*zero saturation magnetization*），鐵的氧化物雖然是鐵磁性物質，可是加上適當的鋅含量，即變成反鐵磁性物質。

【鐵磁共振】（Ferromagnetic resonance）

幾乎所有的磁性共振都是用圖 21—6 的裝置觀測其共振效應。由於Z軸的靜態磁場$\overrightarrow{H}_0$和樣品的總磁矩$\overrightarrow{M}$作用，產生力$\overrightarrow{M}\times\overrightarrow{H}_0$，使磁矩繞$H_0$旋轉。當橫向微波磁場的頻率和廻轉頻率相等時，大量的能量被吸收，就是共振。我們亦可想像鐵磁物的總自旋在靜態磁場的方向量子化（能階之差就是通常所稱的則曼頻率，用h做單位），“選擇定則”只允許相鄰能階的躍遷。假使微波磁場的頻率能使樣品在相鄰兩能階間振盪（亦即和則曼頻率相同），就有共振現象。由於鐵磁物質的離子有很強的交換耦合作用，使鐵磁共振的半寬度在理想情況下甚爲狹窄，通常都小於 1 高斯。圖 21—7 是釓鐵磁的共振，縱軸的χ代表異相磁化率（*out-of-phase ssuceptibility*），與共振的吸收功率成正比。共振曲線的半寬度只有 0.2 高斯。

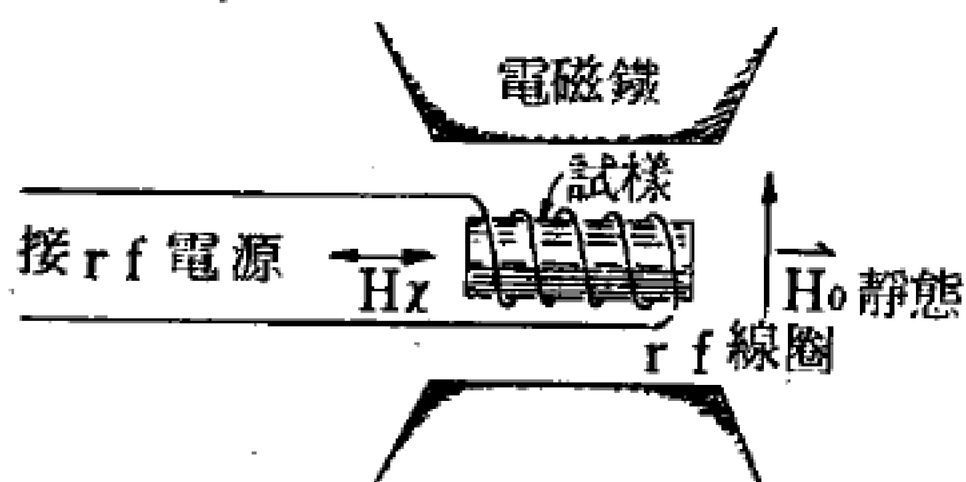


圖 21—6

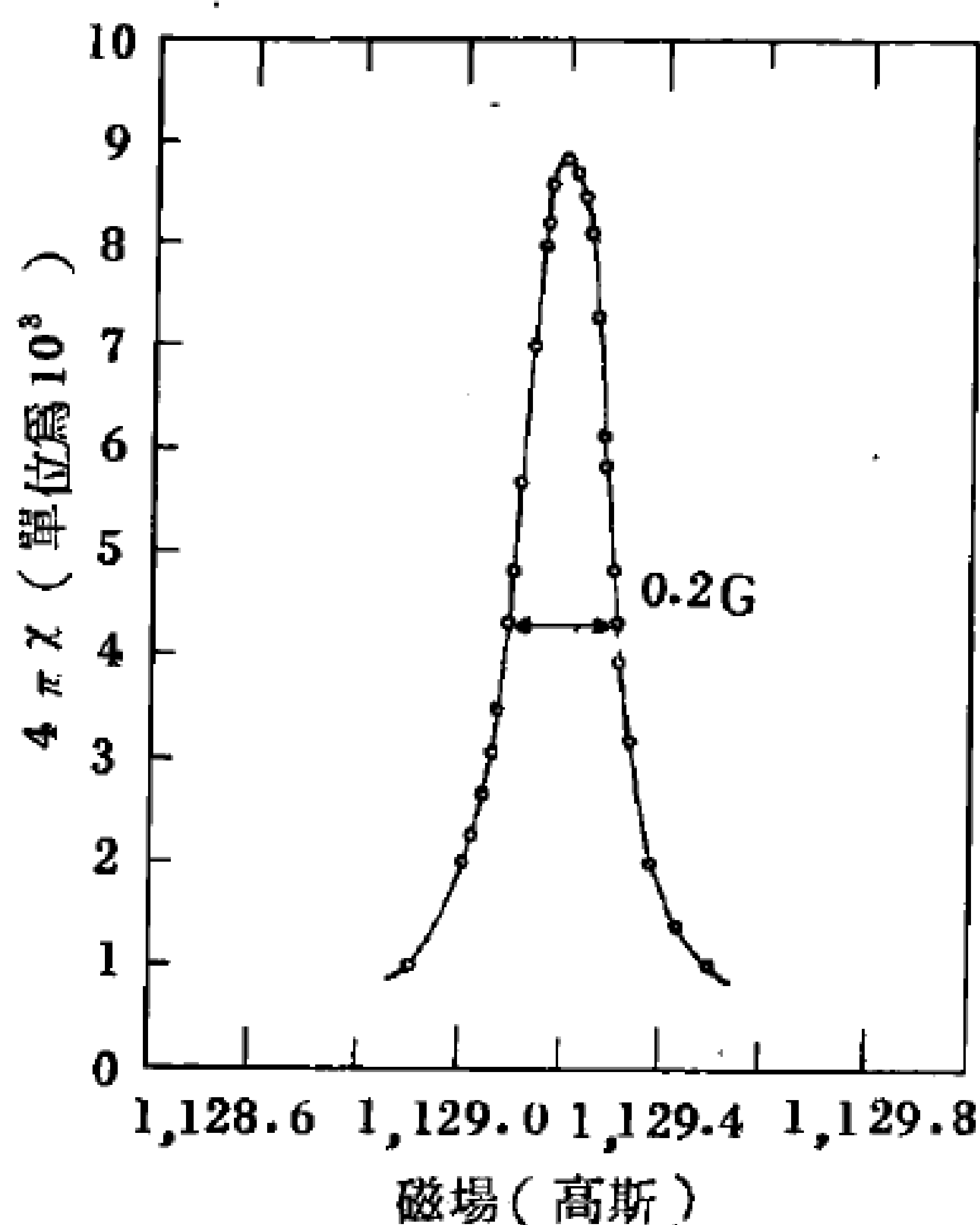


圖 21—7

【鐵磁性】（Ferromagnetism）

每個電子除帶有一單位的電荷外，還有一極爲微小的磁性。每個電子有如一小塊帶有南北極的磁鐵，具有指向磁場方向的趨勢。在飽和軌層內的八個電子是成四對存在，每對電子的磁性則相互抵銷如圖 21—8 所示，如果軌層內的電子數爲奇數，則這些小磁鐵不能完全相銷，原子則將具磁性。

鐵原子內的電子雖是雙數，其情形亦復如此，金屬鐵晶體內鐵原子

的電子軌層是不完整的，而有不成對的電子。這些不成對的電子在軌道中環行時，會影響到鄰近原子中的電子。在兩個原子的電子軌道相重疊的區域，電子由於同性電荷而相互排斥，由於它們的小磁鐵排列方向的不同，它們之間也有排斥或吸引力，此外它們更必須是各個不同的（這永遠是電子相互影響的一項重要因素），依照庖立原理，同時同地的電子不會彼此相似，在原子間軌道重疊的區域內，兩個原子的電子能互換軌道，這種交互作用，稱爲互換耦合（*exchange coupling*），這種互換軌道的能力加上電子各個不同的要求，遂使相鄰原子中的電子有合作的作用。以鐵原子而論，這種合作的結果，遂使每個原子中那些不成對電子的細小磁鐵互相平行排列，此稱爲鐵磁性。原子間電子的合作作用遂導致鐵的永久磁性。這種純爲量子的效應，不能以古典物理學加以解釋。現代量子物理學已成功地預言只有鐵、鈷、鎳、釓與鏑這五種元素以及這五種元素與其他元素的各種合金，具有此種鐵磁性。



圖 21 — 8
氖原子內電子磁效應相銷的情形

鐵磁性物質的性質與溫度的變化有關，對每一鐵磁物質而言，皆有一溫度，稱爲居里溫度（*Curie temperature*），若溫度高於此溫度，則互換耦合會突然消失，而變成順磁者，這是由於電子間的相互合作爲原子的劇烈振動所破壞。此溫度的臨界點稱爲居里點（*Curie point*）。

鐵、鎳、鈷及釓的居里溫度，分別爲 770°C、365°C、1,075°C 以及 15°C 。鐵磁性物質在居里點的這種轉變，事實上是它的晶體的結構改變。它相當於一個相的轉變，這種轉變也可以由鐵磁物質的比熱在居里溫度的突變而看出，如圖 21—9 。溫度在居里點以下的鐵磁性物質，在能包含幾百萬個原子的小範圍內，我們發現雖然沒有外界磁場的

影響，在此小範圍內的所有原子的自旋角動量和磁矩皆自動地指向同一方向，這種現象稱爲自發磁化（*spontaneous magnetization*），如圖21—10，此小範圍稱爲磁田（*domain*）。在常溫之下（因此低於居里溫度），任何一塊鐵皆包含很小磁田，但是每個磁田的磁矩方向並不相同，而且方向的分佈也是混亂不規則的，如圖21—11所示，所以整塊鐵平均起來，其磁矩等於零，但若加一強磁場，則所有磁田的磁矩則沿一定方向整齊排列起來，因此鐵卽具有磁性。磁田雖然很小，但用高倍的顯微鏡能看到。

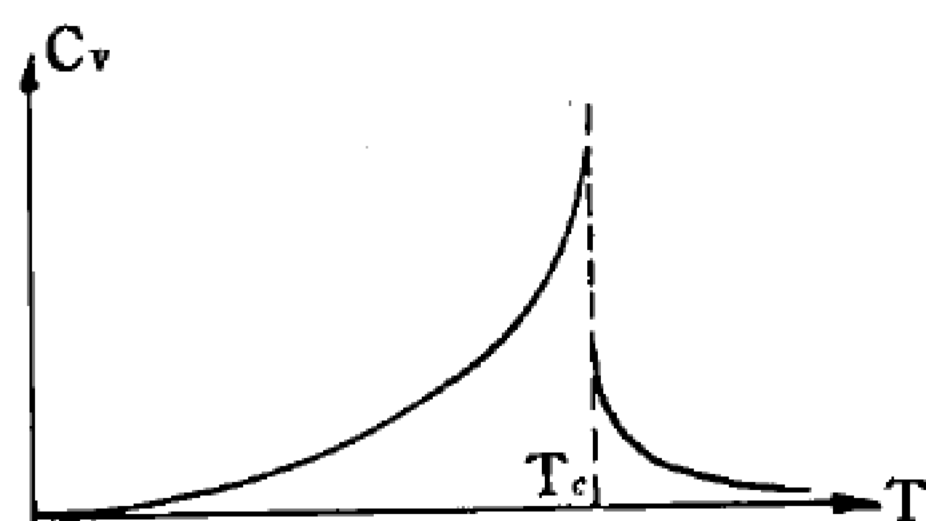


圖21—9
鐵磁物質的熱容量在居里溫度T_c的改變。

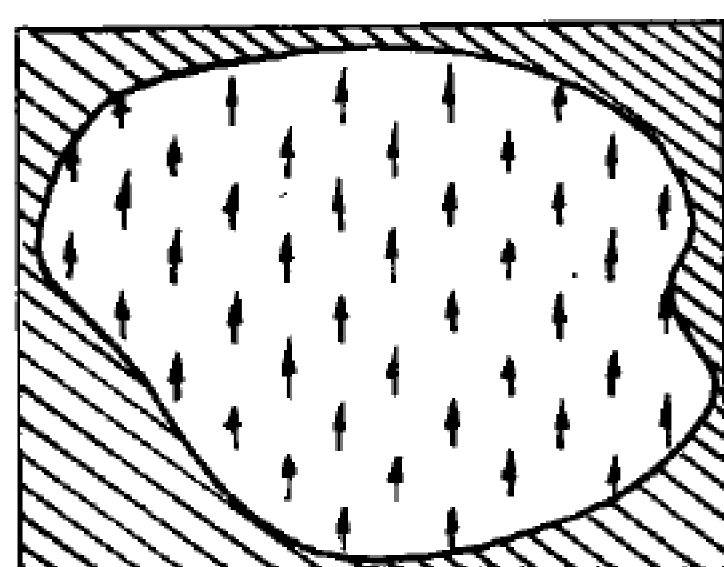

圖21—10
鐵原子自旋性磁矩對齊情形


圖21—11
鐵磁物質的磁田的雜亂排列

至於磁田裏的磁矩都在同一方向是因爲這些原子是處在晶體的結構中，在這晶體的結構裏，相鄰原子之間皆有交互作用，此作用必須使原子中有兩個相鄰電子的自旋角動量同向，而且使磁田中的相鄰兩原子的自旋角動量同向，才能使其能量達到最低而晶體的結構最穩定。

【鐵磁絕緣體】（Ferromagnetic insulator）

鐵淦氧磁物是一種具有鐵淦氧磁性的物質，它並不像鐵一樣有相當高的飽和磁化強度，所以它們只有在小磁場下才有用。但是有一種非常重要的不同，它們是絕緣體，鐵淦氧磁物是鐵磁絕緣體。在高頻率磁場中，它們的渦流非常小，所以可以應用到微波系統裏，微波的電磁場能進入這種絕緣物質，然而對於如鐵的導體，電磁場就會被渦流趕出外面

【鐵翼式電流表】(Iron-vane type ammeter)

一種測量較強電流，靈敏度比動圈式爲低的電流表。

【鐵轉式電流計】(Iron-rotary type ammeter)

主要是用於工業上。如圖 21 — 12所示，電流通過線圈 *Sp* 時，小鐵片 E_1 及 E_2 即帶磁性，圖中如電流係環繞 E_1 及 E_2 沿順時針方向通過線圈，則此二小鐵片同以其南極轉向觀察者。結果遂形成鐵片與鐵片之間的排拒現象，電流所生磁性愈強，其排拒亦愈烈。圖中可動鐵片 E_2 乃與指針相連，後者可在刻度盤上擺動，鐵片 E_1 則是固定的。

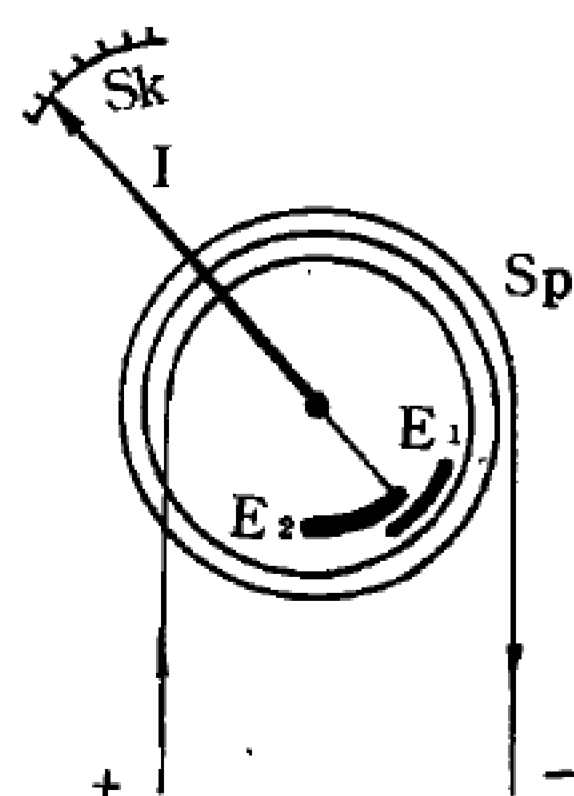


圖 21 — 12
鐵轉式電流計

【露】(Dew)

大氣中所含之水蒸氣，夜間遇冷涼之草木及岩石等時，其與草木等接觸之部分，達於飽和狀態而成結晶水，附於其上，是爲露。夏秋間露最多，蓋因夏秋間晝夜之溫度差甚大。

【露點】(Dew point)

將空氣之溫度減低，其中之原未飽和之水蒸氣將漸達到飽和狀態。當其完全變爲飽和蒸氣時，其溫度即名爲露點。若露點在冰點以上，即變成雨、露、雲、霧。若在冰點以下，則生成霜、雪、雹等。

露點可用下法求得。如圖 21 — 13，在光亮的容器內，半盛以醚。用打氣球鼓動空氣入器內，使醚蒸發。因醚蒸發時奪取液體本身的熱量，故溫度逐漸降低。當容器光亮面上有薄霧時，溫度計所示的溫度

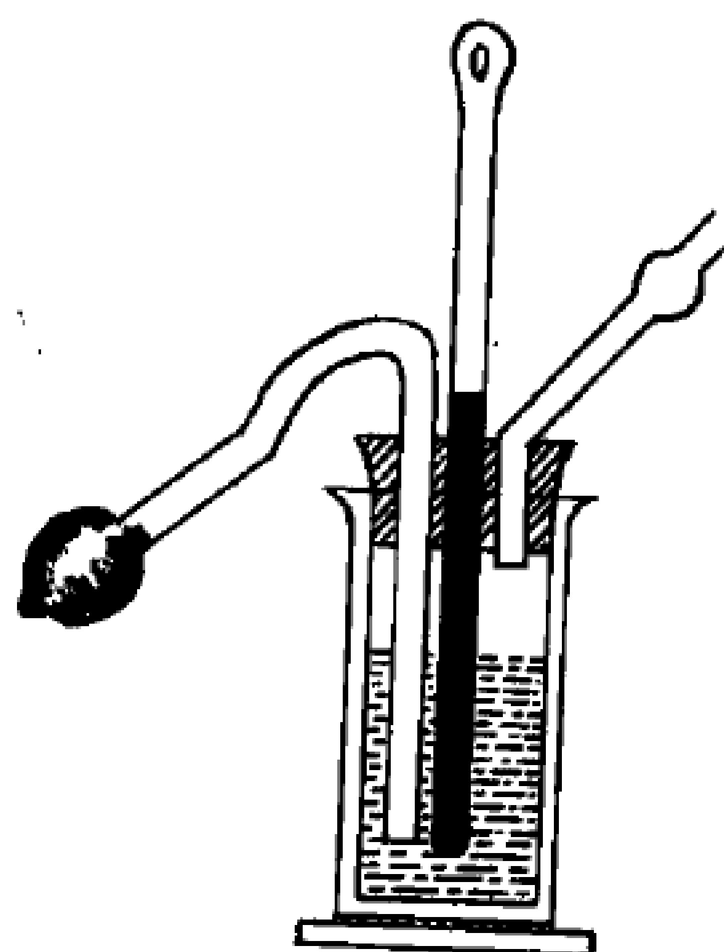


圖 21 — 13

就是露點。

【露點濕度計】(Dew point hygrometer)

就是把測定露點的裝置稍加精製改良，如圖21—14所示。使用橡皮球送入空氣，並在光亮的金屬筒下，加裝一同樣光亮的*U*形金屬片，作爲筒上是否有露珠的比較。

相對濕度的求法可依下列公式求得：

$$H = \frac{P}{P_0} \times 100 \ (\%)$$

式中*P*爲露點之飽和蒸汽壓，P_0爲當時溫度之飽和蒸汽壓。

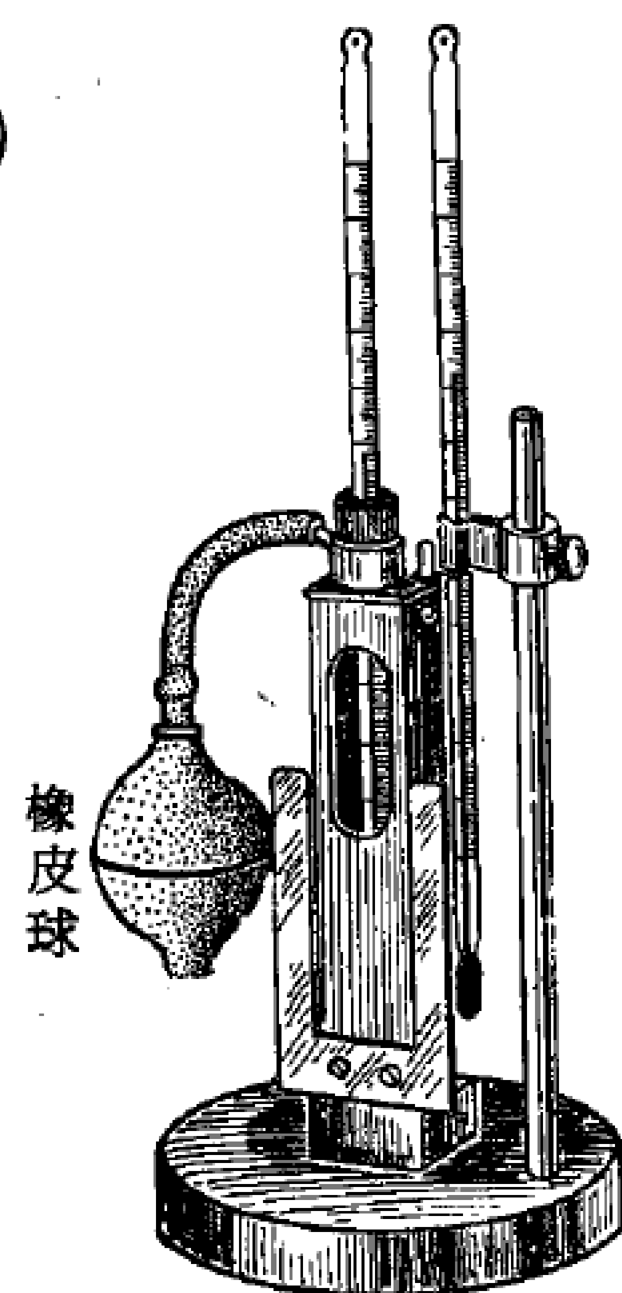


圖21—14　露點濕度計

【響度】(Loudness)

凡聲音的強弱，稱爲響度。這是人耳對於音波強度的一種感應。響度需視聲源振動的大小而定，當發聲體振動大時，其振幅亦較大。普通聲源發出的聲波，均向四方傳播，於是其能量亦隨之向四方傳播，傳至愈遠就愈稀少。如就聲源爲中心的內外兩球面觀之，設外球的半徑恰爲內球之二倍時，則因球表面積和半徑的平方成正比，故外球之表面積必爲內球的四倍，是以距離聲源較遠的球面上，其單位面積上所具有的能量亦較小。由此可知，響度與發聲體的振動面積及振幅大小成正比；與離聲源距離的平方成正比。

雖然響度與聲音的強度有關，但兩者之間的關係並不簡單，甚難作成響度的標度，以正確表示聲音造成的生理感覺。

響度的標準根據韋伯、菲克納定律（*Weber- Fechner law*），卽感覺與刺激的對數成正比。在強度以分貝爲標度時，聲音的強度與相同頻率的底限強度成對數關係，這種標度的缺點是人耳的靈敏度對強度的改變隨頻率而變。等效響度以昉（*phon*）爲標度時，無此缺點，固定聲

音的強度與固定的參考音有關，參考音有一定的強度和頻率因將所有聲音按排其響度依序排列，故常用昉的標度。

參閱“昉（*Phon*）”條。

【響應曲線】（**Response curve**）

共振電路或放大電路對有關頻率響應程度的記錄線圖。

【饋料】（**Feed materials**）

是指某種精製的鈾金屬或釷金屬或其純化合物，能用來製成核反應器的燃料元件或是提鍊成濃化鈾。

【饋電線】（**Feeder**）

無線電工程中用來傳送高頻振盪的電線。用作爲饋電線的，或者是由平行導線組成的，或者是各種不同的高頻電纜。饋電線的主要用途是連接天線與發射機。

【魔眼管】（**Magic eye**）

卽電子射線管。

參閱“電子射線管（*Electron-ray tube*）”條。

【魔數】（**Magic number**）

由許多實驗的結果發現，當原子核中的質子或中子總數各爲2，8，20，28，50，82和126 時，原子核特別穩定。這些整數稱之爲魔數。尤其是當核的質子及中子總數均各爲魔數時，這核更爲穩定，例如：$^{4}_{2}He$，$^{16}_{8}O$，$^{40}_{20}Ca$，$^{208}_{82}Pb$ 等核種。同時原子序爲魔數的元素也有較多的穩定同位素，如 Ca（$Z=20$）有五種穩定同位素，在週期表中，這附近區域內是同位素最多的元素，Sn（$Z=50$）的穩定同位素最多，共有十種；中子數 $N=82$ 的穩定同位素也有七種。由此可知，在原子核的結構中這些魔數實有特殊的意義。

參閱“原子核殼層模型（*Shell model of atomic nucleus*）”條。

二十二畫

【孿三極管】（Twin triode）

指在一管泡中，裝有同一類型的三極管二個。

【孿生】（Twinning）

孿生是晶體塑性形變的一種，這種形變通常多出現在六角密集結構（*H.C.P.*）和體心立方體（*B.C.C.*）的晶體中。孿生形變是由於許多相鄰近的晶體面連續產生部分位移而成，而晶體中形變的部分恰好是未產生形變部分的影像。

【孿生子佯謬】（Twin paradox）

根據特殊相對論的推論，運動的鐘走得比較慢。地球上的觀察者會認爲快速遠離地球進入太空的鐘，比靜止在地球上的鐘走得比較慢。根據此說法會發生下述所謂孿生子的佯謬。

設在地球上有一對孿生子，當中一位駕駛快速的火箭到別的星球旅行。則在地球上的另一位，看伴隨其兄弟旅行的鐘走得比較慢。因生理過程也是鐘的一種，地球上的孿生子會認爲在旅途的兄弟老得比他自己慢。就回程來說，也會得到同樣的結論，因爲時間膨脹是與速度的平方有關。當旅程結束後，這對孿生子併立在一起時，做太空之旅的雙生子要比留在地球上的另一位年輕。這是個很奇妙的結論，許多物理學家認爲從相對論的觀點看，這是正確的結論。而孿生子的佯謬發生的問題是，就以太空之旅的雙生子觀點看，他會得到怎樣的結論？由於他看地球上的兄弟是在作反向的運動，所以他會認爲地球上的兄弟老得比較慢，當他返抵地球時會發覺地球上的兄弟比較年輕！這就是孿生子的佯謬。

現說明太空之旅雙生子所得的結論是不對的，種因於錯誤的推理。爲何這兩種情況不完全雷同？何以旅行者知道地球上的兄弟沒像他一樣作旅行？主要的區別在於旅行者在旅程中一定有過加速度這種經驗事實

，使他與停留在地球上的兄弟有顯著的差別。加速度是可以自己觀察到物理事件，觀察的最簡單方法是注意隨身攜帶的一桶水，其表面的傾斜是否有變化，就可知道速度有否變化。所以如將旅程視爲三種顯明的事件所組成，即去程、回程及火箭的加速。則地上雙生子只經歷兩種事件，而旅行者則經歷三者全部。所以旅程對這對孿生子而言是不對稱的，所以他們都會同意旅行者比較年輕的結論。

【彎曲】(Bending)

指由棒狀物體的兩端有支點而在中央部向下壓時，所引起的形變。彎曲時，同時有伸長與壓縮發生。

參閱“楊格係數 (*Young's modulus*) ”條。

【彎曲式不穩性】(Kink instability)

在揑縮效應的幾何形態中，截有電流之燈絲的彎曲現象，若在揑縮的離子體柱中稍微彎曲，磁力的作用增大其彎曲情況，而使得離子體柱不穩定。

【彎曲空間】(Curved space)

從經驗上說，我們的世界是一平坦的空間，也就是歐幾里德空間。這種空間，可以說是建立在幾個公設上，如平行公設等。將這些公設推廣到一般的空間，則一些幾何量的定義應有較一般化的形式。在彎曲空間(即瑞曼空間)，最基本的幾何量距離定義爲

$$dS^2 = \sum_{ij} g_{ij}\, dx^i dx^j$$

g_{ij} 稱爲基本度規張量，是空間每點的函數，dx^i dx^j 爲各坐標長度分量。在特殊情形，g_{ij} 爲常數，且

$$g_{ij} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases}$$

時，則此空間爲平坦空間，且坐標爲直角坐標。在一般的彎曲空間有不同的 g_{ij} 值，如在一般相對論中，水瓦茲琦度規爲

$$g_{00} = c^2 - \frac{2GM}{r}$$

$$g_{11} = \frac{-1}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}}$$

$$g_{22} = -r^2$$

$$g_{33} = -r^2 \sin^2\theta$$

在此類彎曲空間中，角度和最短曲線的定義，以及平行公理都有一般化而明確的規定。在物理上此種空間的應用，一般相對論以它爲基礎，而有成功的預測。

【彎臂槓桿】(Bending arm lever)

槓桿之力臂爲彎曲形狀者，如圖 22—1 所示之喞筒柄即爲彎臂槓桿。所謂槓桿臂，指的乃是作用力（負荷）和旋轉點之間的間隔。即以 P 和 Q 兩力到旋轉點之間的間隔 p 和 q 作爲槓桿臂。$P \times p = Q \times q$ 之關係式，在取得平衡的情形下仍然是可以成立的。

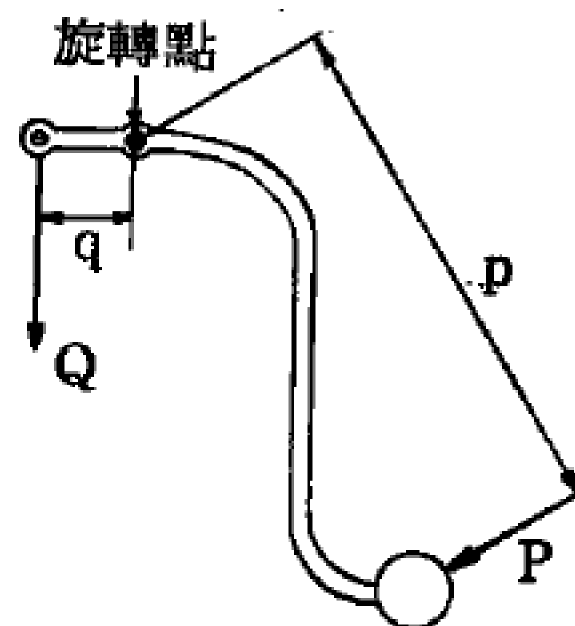


圖 22—1

【疊片】(Lamination)

指鐵芯線圈內之鐵芯，是由許多薄鐵片所疊成的，其目的在防止渦流的損失。

【疊片絕緣】(Laminated insulation)

分層鐵芯，每片塗上絕緣體，如此可以減弱渦流損失。

【疊片鐵芯】(Laminated core)

一般鐵芯變壓器的鐵芯，發電機及電動機電樞的鐵芯，都是由成層鐵片疊成的。每塊鐵片表面都塗有絕緣薄膜，用以削減渦流。

【疊層線圈】(Band wound coil)

多層線圈是疊繞的，內分佈有電容。

【聽力計】(Audiometer)

在電話聽筒內產生已知頻率和強度聲音的儀器，用以量度由於聾度所致的聽覺衰減(*hearing loss*)和噪音造成的掩蔽效果。聽力計種類繁多，最常用者含有閥式振盪器及放大器，將聲音饋入電話聽筒內，聲音頻率在整個可聞範圍內改變，一衰減器(*attenuator*)可按指定之量使輸出強度減低。可將衰減器校準以分貝為單位，當衰減器的輸出降至聽者的底限強度時，即可直接讀出聽覺衰減。試聽覺衰減時，聽筒正對耳朵，但量噪音掩蔽時，則將聽筒保持一定距離，在有噪音時量取聲音的底限。

另一種型式完全不同的儀器是*Hilger* 聽力計，供分析聲音之用。有極薄的膜，受聲音的影響會振動。一鏡隨膜顫動，光線自鏡面反射，用轉動之筒觀測反射光，筒上有白線與軸平行。調整筒的轉速，可看到頻閃效應(*stroboscopic effect*)，即能量取聲音的波形。

【聽筒】(Phone)

無線電接收機中低頻放大器輸出的是低頻電能，此種電能無法聽出，須將電能變成聲能，才能聽到原來的言語或音樂。聽筒是使電能變成聲能的器械。聽筒又稱耳機，當低頻電流通過線圈時，膜片發生振動，因此推動空氣，產生相應的聲能或聲波。

參閱“耳機(*Earphone*)”條。

【聽覺底限】(Threshold of hearing)

聽力正常的人所能聽到最輕微的純音，此音的強度稱為聽覺底限。人耳對頻率2,000至3,000週/秒之間的音最靈敏，在此頻率範圍內的聽覺底限約為－5分貝。

【聽覺衰減】(Hearing loss)

人的聾度可由聽覺衰減表之，定義為底限強度自正常底限的移動，以分貝為單位。若聽者的底限強度為 I ，正常人耳的底限強度為 I_0，則

聽覺衰減爲

$$10 \ log_{10} \frac{I}{I_0}$$

某人的聽覺衰減在一頻率會與在另一頻率並不相同。正常表示每耳的聾度應就全部可聞範圍予以試驗，並應繪出聲波圖（*audiogram*），顯示底限強度對音調的變化。由此方法，常發現聾度只限於某頻率區域內。試驗聾度的最佳方法是用閥式聽力計，使已知頻率和強度的音傳予人耳。也常用許多粗略的試驗方法，例如在一定距離耳語報數，求得某人聽到數目的能力，或用銅幣的叮噹聲或手錶的滴答聲。在某種情況之下，聾者的聽力會比正常的人爲佳，由此可找出耳中的缺陷部分。例如以音叉壓住腦蓋骨，聾者會由骨質的傳聲作用而聽到音叉的聲音。故若某人中耳不良，他會聽到音叉的聲音比常人還久，因室內的噪音掩蔽常人耳蝸的感覺，而聾者並不受此掩蔽。將音叉置於腦蓋骨的中心線，可顯示耳蝸的缺陷，若聽者一耳的聽力較另耳爲佳，則聽覺不良之耳其耳蝸不良。

【讀數】（Reading）

度量儀表上的刻度值，如電表度盤數值。

【鑑別】（Resolution）

鑑別就是能很明顯的觀察到兩點之間的最小分離。這是使用透鏡系統以獲取透視物絕對影像的唯一目的，可是因爲光線有繞射的現象，鑑別能力常有一極限。

【鑑別率】（Resolving power）

能將兩鄰近物體所產生之影像，或兩相近波之波長分離的能力之量度，稱爲鑑別率。現分述如下：

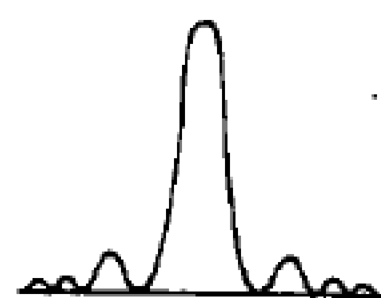
1. 目力鑑別率——眼睛能分辨兩鄰近物體爲二的能力，這與物體的型別、照明狀況等有關。亦稱爲眼睛的視覺敏銳度（*vision acuity*

）。

虎克（*Hooke*）在十七世紀末指出（由天文學的觀察），視覺敏銳角之限度大約爲弧度上的一分。也就是兩鄰近物體對眼睛可張的角大於一分弧時，正常眼睛可看出二物爲分離。

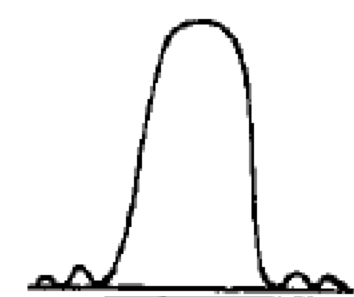
2 望遠鏡的鑑別率——就望遠鏡而言，鑑別率是該儀器正好能分辨二點光源爲分離時，二點光源的分離角的量度。角愈小，鑑別率愈大。

點光源經望遠鏡的物鏡所得的像呈繞射圖樣。此繞射圖樣有一中央亮點，周圍環繞一圈圈明暗交錯的圓環。兩極靠近的點光源則產生二重疊的繞射圖。此繞射圖的強度變化的斷面圖示於圖22—2(*a*)，圖(*b*)和(*c*)是不同重疊程度的繞射圖樣。



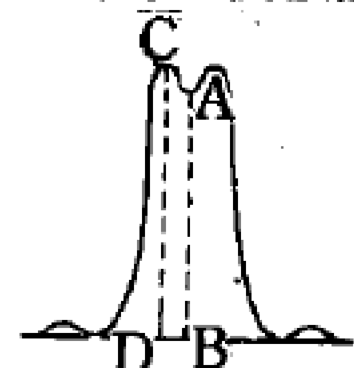
(a)二繞射圖完全重疊

兩繞射圖很接近時重疊圖的中心有一圓盤狀的亮團。分離程度增加，正中心的亮度會減弱（$AB<CD$），如圖(*c*)的中心*A*產生一小凹陷，當陷至某種程度時，眼睛就可以辨此二光點了。



(b)二繞射圖很接近

由此可導得以物鏡直徑爲*D*的望遠鏡鑑別兩光點時，此二光點的角分離度不得小於 $\frac{1.22\lambda}{D}$，λ 是所用光的波長。由瑞立判據可算出凹點強度對顛值之比（$\frac{AB}{CD}$）爲0.81。



(c)二繞射圖分離夠遠，足以分辨

圖 22—2

天文學家道子（*Dawes*）以平日工作經驗提出鑑別二分離點光源的條件是其角分離度大於 $\frac{4.5}{D}$ 秒弧，*D*是物鏡直徑的吋數，此鑑別的分離度小於瑞立所提者。

阿貝（*Abbe*）曾以實驗（主要是顯微鏡）得出鑑別的阿貝判據（*Abbe criterion*）爲角分離度應大於 $\frac{\lambda}{D}$，λ 與*D*的定義如前。由此判據求出的凹點強度對顛值之比爲0.98，這又比瑞立的條件更爲嚴格。最

後斯派洛（*Sparrow*）以實驗研究結論說鑑別的條件很簡單，就是重疊繞射圖中應有一中心凹陷處。目前比較各種儀器的鑑別率時，大多還是以瑞立判據爲基準。

要得到需要的鑑別率，除了增大物鏡的孔徑外，還可增加目鏡的放大率，使成像的分離度加大。

3. 顯微鏡的鑑別率——顯微鏡的鑑別率是儀器能分辨爲分離二物點的物點間實際距離。鑑別率愈大，此距離愈小。

應用瑞立判據可得最小鑑別距離爲 $0.61\ \lambda/n\ \sin i$，式中 λ 是光波波長，n 是物點與物鏡間介質的折射率，i 爲物點對物鏡邊緣所張角度的一半。阿貝稱 $n\sin i$ 爲物鏡的數值孔徑。阿貝以實驗求得最小鑑別距離爲 $0.5\lambda/n\sin i$。

由前二式我們可看出大的數值孔徑和短波長能增進鑑別率。數值孔徑可藉在物點與物鏡間塡以大於空氣折射率的介質而增加，此過程稱爲油浸（*oil-immersion*），通常所塡的油是香柏油（*cedar-wood oil*）。數值孔徑還可由增加物鏡的視角予以改進，但設計廣角鏡頭時有物像差的限制。現代所謂高鑑別率顯微鏡的數值孔徑大約是 1.6，其對應的最小鑑別距率是 2,000 埃（1埃 $= 10^{-8}$ 厘米）。

增加鑑別的第二個方法是降低所用輻射波的波長。超顯微鏡用紫外線，其波長約爲可見光的一半，因此理論上鑑別率可增加兩倍。電子顯微鏡中快速電子的波長比可見光更短，以適當聚焦的電子射束所攝得的影像使鑑別率低達 10 埃。

4. 色鑑別本領——或稱色鑑別率。分光儀器的要求是能分辨出波長極相近的波，此時鑑別率的量度是所研究之波的波長與它和恰能視爲分離波的波長差之比，即 $\dfrac{\lambda}{\Delta\lambda}$。

若當時的儀器是稜鏡分光鏡，應用瑞立判據，上面所定義的鑑別率可寫爲（$t\dfrac{d\mu}{d\lambda}$），式中 t 是光束在稜鏡內所經最大距離，$\dfrac{d\mu}{d\lambda}$ 是稜鏡組

成物質的折射率隨光波波長的變化率。通常實驗室中所用的此型分光鏡的鑑別率大約是 10^3 。

如果是繞射光柵，其鑑別率等於光柵槽紋總數與光譜序數的乘積，即

$$R=\frac{\lambda}{\Delta\lambda}=Nm$$

式中 N 爲光柵槽紋總數，m 爲光譜序數。對於三吋凹光柵的第二序鑑別率約 100,000，理論上是可能的。

【鑑頻器】(Discriminator)

(一)一種能夠根據脈衝高度或電壓來選擇脈衝訊號的電子線路，用它來濾去一些外來的輻射計數或背景輻射，或用來作能譜分析。

(二)調頻接收機之檢波裝置，它的基本作用是將一定頻段的頻率，經整流後變成變動的直流電壓，再將此電壓放大及電力放大，送到揚聲器，故鑑別器實際是調頻接收機的第二檢波器。

【顫噪效應】(Microphonics effect)

即微音效應。

詳閱"微音效應(*Microphonics effect*)"條。

二十三畫

【纖維】(Fibre)

是一種堅硬的絕緣體，主要應用於強電流工程中。

【變分原理】(Variational principle)

數學上的變分計算法在物理上的應用極廣，在物理上變分原理稱爲漢彌頓原理（*Hamilton's principle*）或最小作用量原理（*least action principle*）。由物理上的定義可以求出一系統的拉格朗函數（*Lagrangian*），如以動能T和位能V表示，則拉格朗函數L爲

$$L = T - V$$

定義作用積分（*action intergral*）I爲

$$I = \int_{t_1}^{t_2} L dt$$

應用變分計算，使此作用積分爲最小，即

$$\delta I = 0 \rightarrow \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0$$

則可求出質點的運動方程式，在相對論中以拉格朗密度L代替拉格朗函數，則作用積分可寫成

$$I = \int_{\tau} L d^4 x$$

由變分原理$\delta I = 0$，可求出場的方程式及運動方程式，如電磁場方程式，重力場方程式等。

【變化熱】(Heat of transformation)

在不改變物質的溫度情況下，使某同分異構物一克分子量變化成在較高溫度下呈穩定狀態同素異相物所需的熱量。

【變形週期】(Period of deformation)

彈性碰撞時由開始碰撞到分離所需的時間。

【變形熱】(Heat of deformation)

倘若我們將一根已淬火而無彈性的粗鐵絲，夾在老虎鉗口上，然後

快速地往復撓折，直到折斷爲止，則在斷處就會發熱。硬幣在壓製時，一塊鉛或一根鐵絲在被用鐵鎚打平時，都會顯出發熱的現象。當固體的變形超過彈性極限而不能再自動回復到原來形狀的時候，也會有這種現象發生，這些熱卽稱爲變形熱。

【變性酒精】（Denatured alcohol）

普通酒精（*ethyl alcohol*）滲入他種液體使其不可用作飲料者，稱爲變性酒精。滲入的液體常係木酮（*acetone*）、甲醇（*methyl alcohol*）、苯（*benzene*），或其他相類似的液體使酒性改變。

【變阻器】（Variable resistor）

具有可變電阻的器件。通常是用改變變阻器中接入於電路的那一部分電阻絲（繞組）的長度來改變電阻。變阻器用來調整電路中的電流強度或調整某一段電路上的電壓。

音量控制器亦爲碳變阻器之一，但其阻値變化時是對數式的。

【變阻器控制】（Variable resistor control）

如音量控制器就是變阻器控制的。

【變星】（Variable star）

光的強弱有變動的恆星，總稱爲變星。全天一切恆星的總數，約有5%是變星。恆星有變光的事實，知道得固然很早（卽在西元前134年）；但加以研究的則自第谷始。至於發現變光有週期者，則自1572年起。

變星亮度變動的基本物理原因迄未完全明瞭，但有幾組有名的變星其所以發生亮度變動的原因已加以研究，其中最重要的爲：

1.爆發（炸）的星球——爲在超新星、新星、似新星的變星天鵝星座內的星球，產生噴氣現象，如氣體殼形或環形所集積的能比最外大氣層的爲低，且在爆發中忽然放出能量，此種爆發並無嚴格的週期，但任何一星體其再發現時均約在相等的時期內。

2. 脈動或振動的星球——此類星球特別重要，並將其再分爲數類。它們對於半徑和溫度受到嚴格週期的振動（星球有週期性的膨脹和凝縮）。

3. 不規則的變星——有幾種不同的類型，所有各變星的星光變動非週期性的，但在連續的最大或最小變動中的時間間隔，則依星組中每一星體特殊的光度而定。在這些變星中所觀測的變動，並非由於直接變更表面面積與一振動的氣體球的表面溫度，而是由週期振動所引起。

4. 光譜變星——此類變星中亮度的小週期變動爲連合各吸收線強度的顯著變動。這些變星亦爲磁性的變星，其變動的來源爲與其磁性有關。

5. 依黑子而變的星——因其表面上黑子數和分佈情形的變動，及因其軸的廻轉帶著不同黑子區而進入視域。這些點可能爲暗的（如太陽黑子）或亮的（如同太陽的光斑和閃光），後者的情形稱之爲閃光星。這樣一個星的亮度可因一星球在1、2分鐘內星等忽然增加一等，並可能在亮度極大後10分至15分鐘恢復原來等級數值。

6. 亮度迅速（極快）變動的星——由正在發藍色光而幾乎耗盡其氫燃料的星體的光球，迅速變動其光的強度的變星，這類變星中最顯著的變動，於1934年爲華爾格（*M. F. Walker*）在武仙座（*Herculis*）新星中發現的。在某一時間於星蝕系統的光度曲線顯示有0.07星等和1.180分的週期變動，但在另一時間則無變動。

7. 金牛座中變星（*T. Tauri*）——此類變星及其有關天體，僅在微塵和氣體的暗星雲中發現。曾有一時期認爲其亮度的不規則變動，爲由在該星前面經過的變星雲所掩蔽。這是幾種變動情況中可能發現的一種；但金牛座變星的大部分變動爲其本身的變動，而非爲星雲原子或微塵落入該星球所致，但似乎由極幼年星球仍受引力凝縮而致該星體不能穩定所發生的。

至於此種變星的命名，第一次在星座中新發現的用*R*. 表示，第二次用*S*，第三次以後則由*T*至*Z*，故有*RR*,*RS*-*RZ*；*SS*,*ST*-*SZ*；以至*ZZ*。在有些星座中，有更多變星發現，用*AA*,*AB*-*AZ*；*BB*,*BC*-*BZ*等等。例如武仙座中星球（*DQ Herculis*），爲在1934年爆發的，最近又發現其爲一個蝕變星；天鵝座（*SS Cygni*）爲一個本身的變星，但其性質爲不規則的變星，並像一新星；天琴座中變星（*RR Lyrae*）爲一個所謂星團型的變星的脈動星的代表星。如一星已在其星座前有一希臘字母，仍應保留；例如天琴星座β星（β *Lyrae*）和仙王座δ星亦稱造父變星（δ *Cephei*）均爲變星，一爲蝕變星，一爲其他本身變星。

【變速度】（Varying velocity）

物體運動之速度時時改變者稱爲變速度，亦卽物體在路線上各點之瞬時速度不爲定值者。

【變速度運動】（Variable motion）

通常物體的運動，在短時間內的速度可以相同，但在長時間內極難作等速運動。速度時有變更的運動，稱爲變速度運動。卽一物體或質點在任一單位時間內所經路程長短不等時，此物體或質點之運動稱爲變速度運動。變速度運動又分爲加速度運動及減速度運動，依照物體在前後相接的同一單位時間內所經路程是愈大還是愈小而定。圖23—1示等速、加速及減速之三種運動的對照圖，以秒爲時間單位。

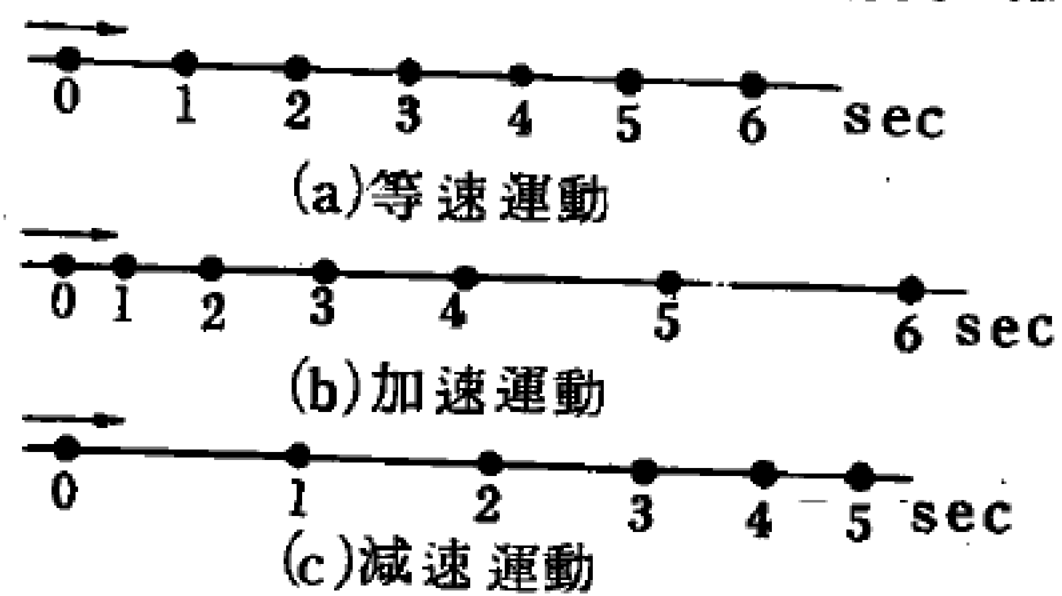


圖 23—1
等速運動和變速度運動之對照圖

變速運動的速度雖常有變更，但在一定的時間必經過一定的距離。若用等速運動的公式來計算，所用的速度應爲該時間的平均速度。

絕對的等速運動，在自然界以及在日常生活中很難看到，嚴格地說

來亦爲絕無僅有之事。運動之物體在前後相接的單位時間內所經路程通常並不相等。譬如有一列火車從A站出發，5分鐘後到達9仟米之遠的B站，火車在每一秒鐘內所行距離並非是彼此相等，而是在由A站開出的一段時間中漸漸增大，在中途時則大致相等，到達B站前則又漸漸減小。首先一段之運動很明顯的是爲加速運動，第二段則爲等速運動，第三段則爲減速運動。換言之，速度起先是在增加，接著是保持不變，最後則漸減爲零。

【變動負荷】(Varying load)

指負荷值是可變者。

【變跨導管】(Variable-gm tube)

特性曲線伸得很長的電子管，此伸長了的曲線在不同的部分上有著完全不同的斜率。由於具有這樣的特性曲線，便可能利用改變柵極偏壓，卽沿曲線移動工作點的方法，在很大的範圍內改變電子管所給的放大。變跨導管可在接收機內用來進行自動增益調整。其中一個或數個中頻(有時還有變頻及射放)放大級是用這種電子管接成，改變這些管子的柵偏壓，就可以在很大的範圍內改變接收機的增益。此式管又名遙遠截止管。

【變模器】(Matrix)

計算機中金屬絲、兩極管、繼電器等所構成的一種電路簇。可將一種類型的數字符碼，轉變爲另一種類型。

【變頻】(Frequency conversion)

變換電振盪使其頻率改變。變頻可以分爲兩種情況。第一種情況是改變一種振盪，使改變後的振盪頻率與改變前的頻率之間有某一定的比例，例如爲原來頻率整數倍的倍頻，或爲原來頻率整數分之一的分頻。

第二種情況是有兩種振盪參予變頻，改變後的振盪頻率在最簡單情況下是改變前的兩個振盪頻率之和或差(在一般情況下，改變後的振盪

頻率是被變振盪的組合頻率）。第二種型式的變頻有時又叫做頻率的外差作用，它應用在超外差式接收機中。無論是第一種型式或第二種型式的變頻都只能發生在非線性電路內。

【變頻級】（Converter stage）

超外差機將接收信號及本機振盪信號混合後，檢出中頻的一級。

【變頻管】（Converter）

超外差式接收機內的一種電子管，在這個電子管內，輸入振盪與本機所生振盪相混合，從而產生出中頻振盪。因爲中頻振盪的形成過程與檢波過程相似，所以在最簡單的情況下，就可以應用工作於柵極檢波狀態的普通三極管來作爲混頻管。不過用多柵電子管來作爲混頻管，將輸入振盪與本機振盪加到不同的柵極上，可以獲得更大的效果（可以獲得更大的中頻電壓）。這一個電子管也常常同時用來產生本機振盪，爲此，電子管還應當另外有輔助柵極，這種電子管叫做變頻管。此外，在這種電子管內，還採用有用以改善電子管參量的輔助柵極。因此，用來作爲混頻管的通常是五柵管甚至是六柵管。

【變頻器】（Frequency converter）

變頻器的構造類似繞線轉子式的電動機（*wound rotor motor*），主繞線是定子，副繞線是轉子（*rotor*）。副繞線的電壓是用滑環從轉子上除去。當副繞線在靜止時，兩個頻率是相等的。倘若副繞線是連接到一個電動機而向後推動時，它就和主繞線的轉動磁場相遭遇，結果就比在靜止時更能快速地被主繞線的磁場所切割。假若副繞線對轉動磁場相反的轉動是和主繞線磁場的轉動速度完全相等時，則副繞線被切割的次數正好是兩倍，於是頻率就要加倍。

因此，只要調整副繞線每分鐘的轉數，就可以從變頻器裏得到任何種的頻率。此外，如果要升壓、降壓時，可調整主繞線和副繞線的匝數，以應不同的需要，例如，平常都是在60赫茲的頻率產生交流電，若

在高速電動機、無線電電路和加熱裝置上，就要使用較高的頻率，產生這種高頻率的最方便方法，就是利用變頻器。

【變壓器】（ Transformer ）

利用互感應作用，使交流電壓升、降的裝置稱為變壓器。如圖23—2所示，變壓器包括有原線圈及副線圈兩組線圈，兩者各繞在一由薄鐵片所疊成的鐵芯兩旁。當原線圈的交流電產生交變磁場時，根據法拉第電磁感應定律，副線圈將同時產生相同頻率的感應交流電。

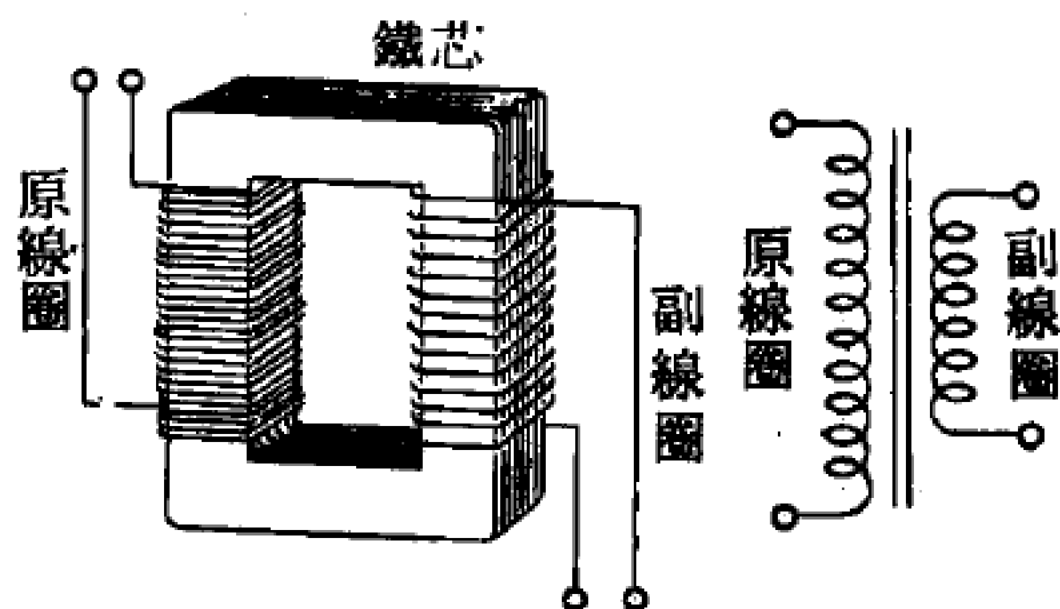


圖 23 — 2　變壓器的構造與配線圖

原線圈電壓與副線圈感應電壓之比，等於原線圈的匝數與副線圈匝數之比；而電流強度則與匝數成反比。所以若副線圈匝數較原線圈匝較數多時，可將低壓的交流電變成高壓的交流電，此種裝置叫做升壓器（ *step-up transformer* ）。反之，將高壓變成低壓的裝置，叫做降壓器（ *step-down transformer* ）。設原、副線圈的匝數各為 n_p, n_s，電源加於原線圈的交流電壓為 V_s，副線圈因感應而得的交流電壓為 V_p，則

$$\frac{V_s}{V_p}=\frac{n_s}{n_p}$$

故 $n_s > n_p$ 時 $V_s > V_p$，即為升壓器；$n_s < n_p$ 時 $V_s < V_p$，則為降壓器。設原、副線圈的電流強度為 I_p , I_s，則原線圈供給的電功率為 $P_p = V_p I_p$，副線圈獲得的電功率 $P_s = V_s I_s$。因有極少量的電能耗於鐵芯，故 P_s 稍小於 P_p，若此甚小的差值予以忽視，則

$$P_s = P_p$$

即

$$\frac{V_s}{V_p}=\frac{I_p}{I_s}=\frac{n_s}{n_p}$$

當變壓器中的原線圈的電流改變時，不只在副線圈中有磁通量的變化，就是對主線圈本身來說，也同時有磁通量的改變，而且增減的情形也決定電流的變化，因此根據磁通量的規則，對原線圈也會感生電動勢，這種由於線圈本身磁通量的改變，而感生的電動勢稱爲自感電動勢（*self induction e.m.f.*）。這種效應稱之爲自感應（*self induction*）。依照楞次定律，自感應總是反抗電流的變化，一直想使電流保持穩定不變。原線圈圈數與副線圈圈數之比稱之爲變壓係數 n 。

若變壓器以匹配電路總阻爲目的，則其總阻的平方根，等於圈數比。因變壓器副線圈的總阻（Z_s），係按下列關係反射到其原線圈之中，以方程式表示如下：

$$N^2 Z_s = Z_p$$

式中N爲副線圈圈數，Z_s爲副線圈總阻，Z_p爲原線圈總阻。則阻抗匹配之圈數比爲：

$$N = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

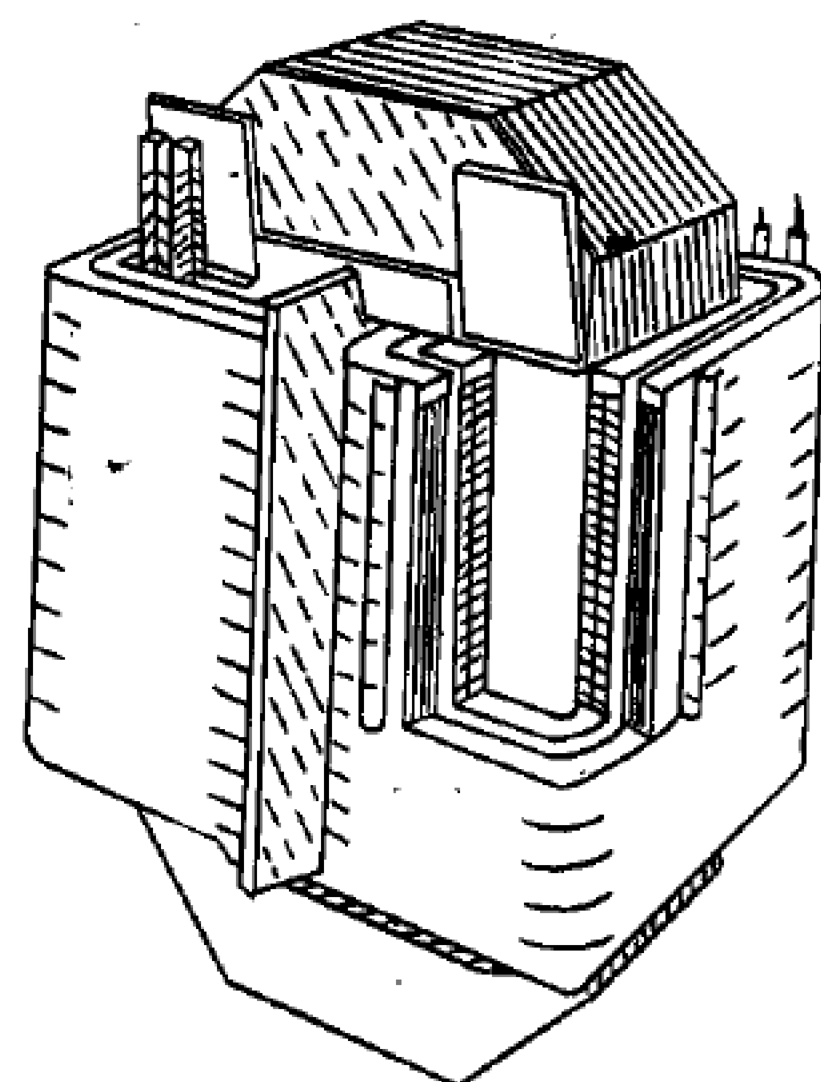
這就是說，如爲升壓變壓器，等效電阻比副線圈中實際所接入的電阻要小；如爲降壓變壓器，則較大。

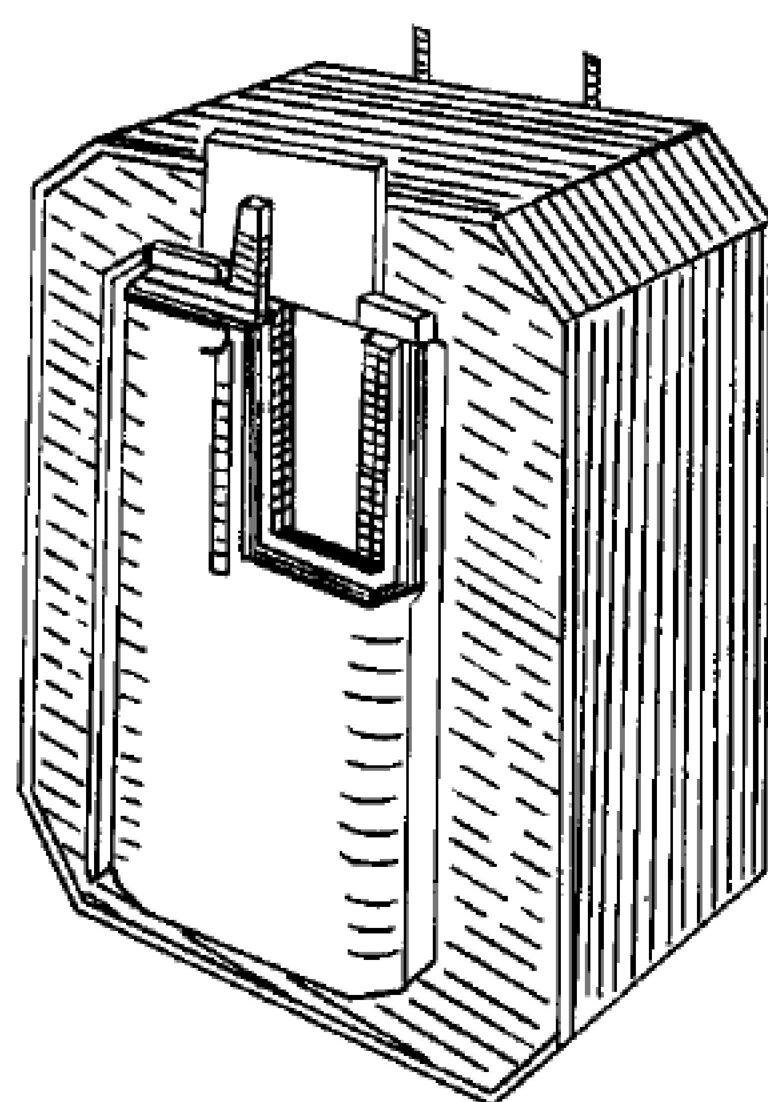
現代變壓器的設計只有一個目的，就是要減低損失到最小的數值最好。變壓器裏沒有轉動的部分，當一個裝置沒有轉動的裝置，即沒有機械摩擦，結果損失變得很少，但一般來說，變壓器不能避免鐵和銅的損失。

鐵的損失是在鐵芯發生的，有一部分損失是由於分子磁鐵的阻力所致，因每當交流變換方向時，分子都要轉動，而分子並不願意如此移動，它們對此移動是有阻力的，此稱爲磁滯（*hysteresis*）。磁滯亦即是摩擦，能產生熱量，另一部分的損失是因鐵芯本身有類似導線的作用，可由其線圈磁場的磁流所橫切，結果就帶有少量的感應電流，此稱渦流

(*eddy current*)，渦流亦可產生熱量。由上知，鐵的損失是由磁滯和渦流造成，這兩項損失是從輸出功率中減去。銅的損失是在線圈內發生，即線圈電流可以產生熱量，銅及大多數導線都是隨著電阻之增加而變熱，線圈愈熱則電阻愈高，而電阻愈高則功率的損失愈大，爲一惡性循環。

磁滯的損失，可利用軟鐵或含矽(*silicon*)的變壓器來減少損失，這種分子可使分子容易移動，很少摩擦。渦流的損失，可用薄鐵片來製鐵芯。這種疊片(*lamination*)的構造，乃是層層絕緣，可以破壞渦流。銅的損失是容易減少的，即在設計線圈時，線圈應儘量短，而線徑應儘量粗，如此不但可以減少電阻，並且可以減低熱量。此外，由於累積熱量所引起線圈裏的整個損失，並可利用特別冷卻裝置予以減少；例如油池、散熱器和鼓風機等，都是冷卻變壓器的特別裝置。


(a) 鐵芯式


(b) 殼芯式

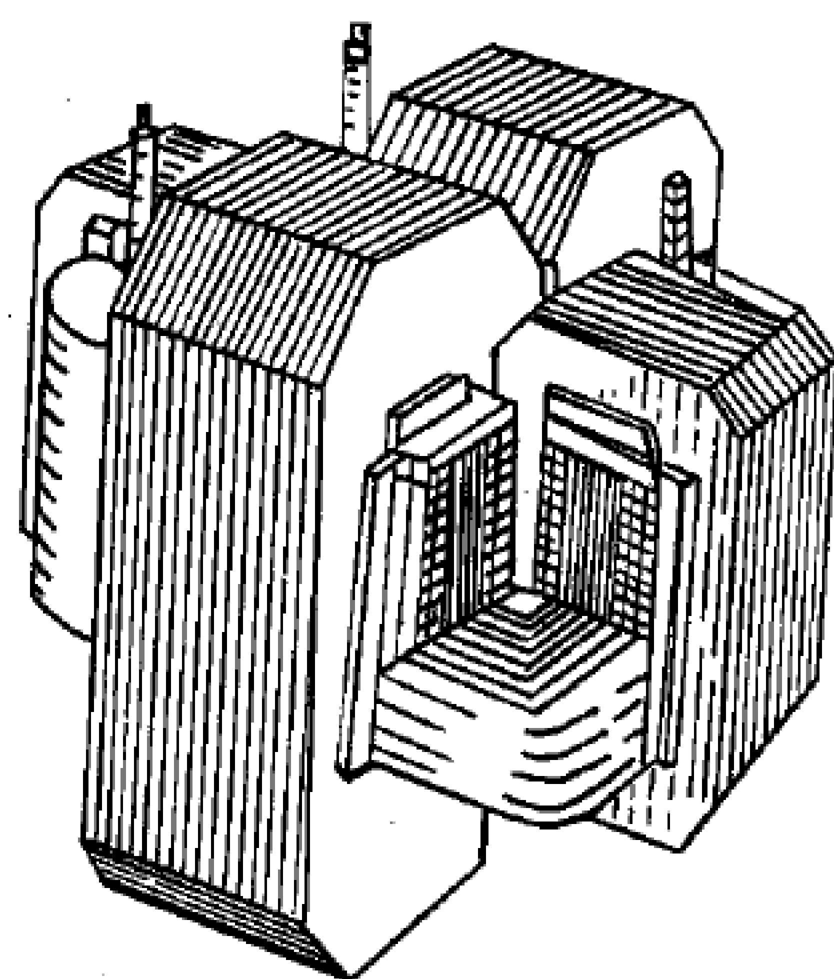

(c)新殼芯式

圖 23—3

鐵芯設計普通有三種型式，各有其優點，但都把原線圈和副線圈放

置在同一個鐵芯上。圖23—3所示三種鐵芯的形式。圖(a)是鐵芯式(*core type*)，宜在高壓處使用，其線圈匝短，電壓可降至最低。圖(b)是殼芯式(*shell type*)，有較長的匝，電壓降也較大，但磁流通路則較短，所以宜在有大電流負荷上使用。圖(c)是新殼芯式，乃是鐵芯式和殼芯式混合而成，具有兩式樣的若干優點。

變壓器的容量是以輸出端能輸出的電量來表示。例如容量爲4*KVA*(仟伏安)的變壓器，如電壓爲100*V*，即可使用到40*A*。電力輸送系統在發電端裝有升壓器，升高電壓而使電流變小，以減少電功率的損耗。在使用端則裝設降壓器，將電壓降至用電器具必須的電壓。除了傳統型式的變壓器外，還有自動變壓器、等電流變壓器及油冷變壓器(把鐵芯與線圈浸在油中)等。

【變壓器耦合放大器】(Transformer coupled amplifier)

變壓器耦合放大器是一種利用變壓器耦合代替各級間電阻電容耦合的放大器。其中屏極負荷就是變壓器的原線圈，而放大了的電壓則由變壓器副線圈輸送出去。在變壓器耦合放大器中通常採用升壓變壓器，這樣就可將加至下級電子管柵極的電壓進行放大。變壓器耦合放大器主要是用來放大低頻電壓。雖然變壓器原線圈的阻抗隨著頻率而變化，但若對各個放大級內的變壓器的性能進行合理的選擇，就可以保證變壓器耦合放大器在全部需要頻帶上有足夠均勻的放大。因爲這種放大器可以在一級上獲得很大的增益，故低頻變壓器耦合放大器廣泛地應用在無線電廣播接收機內。

爲了放大高頻或中頻，也廣泛地應用著變壓器耦合放大器。不過在這種情形下，變壓器的一個或兩個線圈通常是利用電容而調諧於待放振盪的頻率，這時應將變壓器耦合放大器看作是調諧放大器的一種變形。

變壓器耦合放大器的頻率響應非常差，在低作用頻率時，因原線圈的感抗非常低，所以屏極輸出信號電壓小，增益也小。但作用頻率增高後

，兩個線圈的分佈電容、電子管極間電容、電路的雜散及分佈電容所合成的總電容，與變壓器的副線圈感抗相互作用可產生諧振（*resonance*），在此產生諧振的頻率，響應曲線有一最高頂點（最大增益），但在頻率高於或低於諧振頻率時，響應曲線就急速下降。只有用適當設計的變壓器，放大器在聲頻範圍內的頻率響應方能呈顯平穩狀。變壓器耦合的另一缺點是變壓器的體積大，重量也大，同時需加隔離，以免變壓器的雜散磁場影響到拾音設備（*pick-up equipment*）。

變壓器所產生的缺點很多，所以通常僅將變壓器接在兩放大器之間，作阻抗匹配（*impedance matching*）之用。變壓器可經特別設計，使其原線圈及副線圈的阻抗能與一放大器的輸出阻抗及另一放大器輸入阻抗相匹配。同時可利用變壓器的倒相（*phase inversion*）作用，推動推挽功率放大器（*push-pull power amplifier*）。變壓器耦合也在射頻諧振及中頻放大器方面應用。

【顯微照相術】（Photomicrography）

用顯微鏡爲一樣品照相，其優點爲獲得物標之永久記錄。其安置僅需裝配一適當的架構（爲支撐照相感光片）在目鏡以外，仔細焦聚物像，且使照相版曝光。最好使用“投射目鏡”（*projection eyepiece*），且對玻璃座屏以一片清亮玻璃代替便聚焦更佳；在此清亮玻璃上爲一墨水線條，用手持放大鏡同時觀看物標之物像。

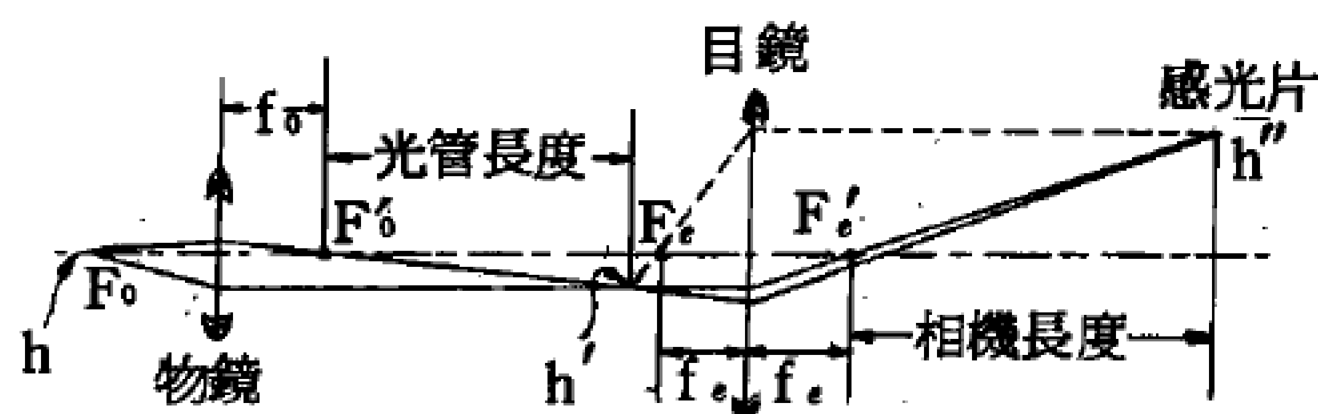


圖 23—4　在顯微照相術中之放大率（光線圖解）

在顯微照相術中形成物像之圖解說明及放大率在此場合中能導出之方法均在圖 23—4 中可以窺得。

$$\text{放大率（對顯微照相術）} = \frac{h''}{h} = \frac{h'}{h} \times \frac{h''}{h'} = \frac{\text{光管長度}}{f_o} \times \frac{\text{相機長度}}{f_e}$$

由此圖解易見“相機長度”應由目鏡之焦點 F_e' 測至感光片，但實

際上此點十分接近目透鏡，故可由金屬目鏡帽測起，而無嚴重誤差。

設若一 $\frac{1''}{6}$ 物鏡（卽 $f_o = 4mm$）安置在一管長 160mm 及一個 ×5 投射目鏡（$f_e = 2$ 吋）上，於是初次放大率 $m = \frac{h'}{h} = \frac{160}{4} = 40$，又若所用照相機長 20 吋，則

$$m_2 = \frac{h''}{h'} = \frac{\text{相機長度}}{f_e} = \frac{20}{2} = 10$$

故在感光片上得一總放大率爲 400 直徑。同樣情形，若相機長度爲 30 吋，則最後放大率爲 600，餘類推。

另一測定放大率之法，乃將一測微計臺置於顯微鏡上而照相機在一分度尺標上，然後在感光片上測量物標之已知間隔的大小。

顯微照相術器材之一般安置如圖 23－5 所示。此照相系統在光闌左方爲一高能光源 S（爲一點燈源燈泡或一自動操作弧光燈）及一輔助聚光鏡 C 適當安置一彩簾光闌 I_1，有時亦可插入一盛水之冷卻槽 T。光源與透鏡 C 之位置間距離應安排在產生一前者之放大物像，其尺寸足夠充滿臺下聚光鏡 E 之鏡徑。用此顯微鏡已將物標聚焦後，乃上下移動透鏡系統 E 直至 I_1 彩簾光闌的物像在物標平面中在焦點處看到。再調整此彩簾光闌之直徑，俾控制物標之照明區域。

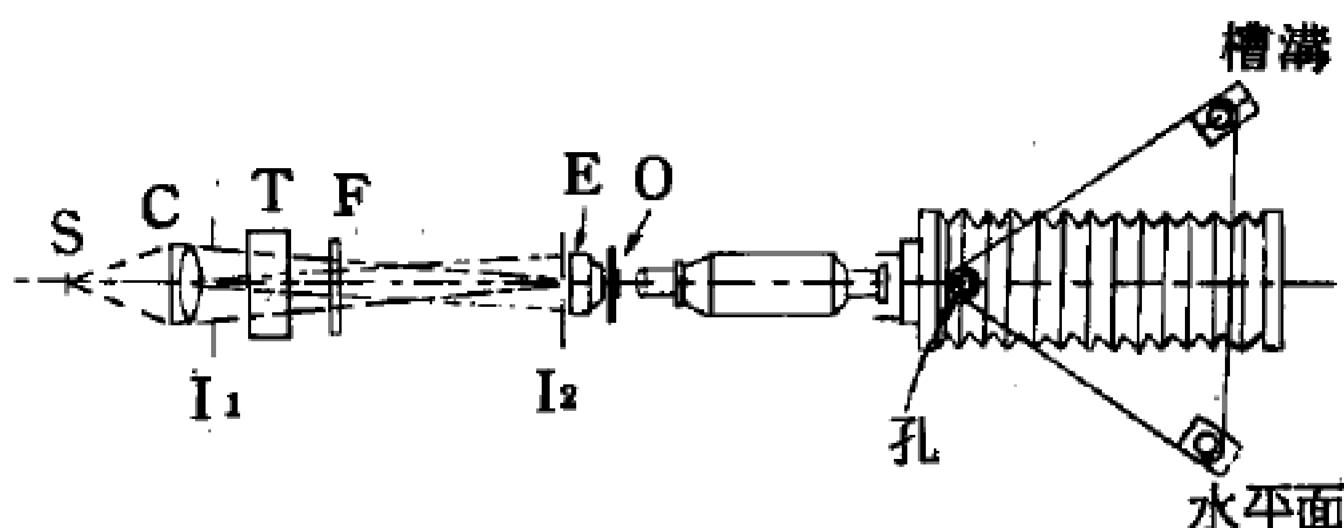


圖 23－5　顯微照相器械之平面圖

用顯微鏡中之目鏡，照相機再置於適當相機長度之位置，以應總放大率之必須條件。最好有一相機底座，安排三個鋼球，再置一平面上，槽溝及孔適當安置在試驗臺上，故允許相機移動，且取代精確部位，如此則當實行預備的調整時，對鏡頭之接近易於辦到，物像在感光片平面內聚焦後，可插入一 $\frac{3''}{4}$ 寬遮障在黑拉蓋（*dark-slide*）前，且在一感光

片上做一系列的曝光，以物鏡之焦點深度一半之量仔細調整。一物鏡之焦點深度爲

$$\frac{\lambda}{4 \cdot N \sin^2 U/2}$$

此處U爲最外邊緣光線與軸在物標空間之所成角；N爲透鏡之物側介質的折光率。在此方式中可得正確的物像焦點，在F（關係物標之顏色及感光片之靈敏度）處加一濾光鏡可增強最後物像之反襯。

在顯微照相中所要決定的放大率，並非憑肉眼的限度，而是憑感光片之顆粒大小限度。顆粒大小隨感光片之不同類型而異，且測定所謂“快速”片具有顆粒之大小約爲0.02*mm*，而“緩慢”片又稱“程序”片（*process plate*)則有0.005*mm*。故有大小爲0.01*mm*之觀念，做爲使用感光片銀粒子在空間合規格的測定。但因粒子亦不能均勻分配在感光片上，故須將放大率調整至在物標中兩點間之小距離應在物像中至少超過顆粒大小之10倍量，俾安全鑑別物像，故必須之放大率爲

$$\frac{0.01mm \times 10}{\text{由物鏡鑑別的物標間隔}}$$

故對於$\frac{2}{3}$物鏡，放大率$= \dfrac{0.10}{0.00125} = 80$

對於$\frac{1}{6}$物鏡，放大率$= \dfrac{0.10}{0.00045} = 222$

對於$\frac{1}{2}$物鏡，放大率$= \dfrac{0.10}{0.00027} = 370$

以上各放大率均足以照相的鑑別由指定物鏡所能鑑別之最小物標間隔之物像，有時可能需要使用此等數字之雙倍或三倍量以保證底片之放大，俾使以後更適宜觀察。但若曝光短促，則最好使放大率如前配置。

【顯微鏡】（Microscope）

顯微鏡爲一使微小物構成放大虛像的透鏡系統。最簡單之顯微鏡，即單顯微鏡（*simple microscope*），係一收斂透鏡，俗稱放大鏡

(*magnifying glass*)。

通常我們所說的顯微鏡是指複顯微鏡 (*compound microscope*) 的簡稱。用以觀察極微細的物體。顯微鏡是1610年伽立略發明的。其最簡單的型式只包括兩個凸透鏡，用一個直立金屬圓筒，上下兩端各裝一個焦距極短的物鏡和一焦距較長的目鏡。爲了消除像差，實際上二透鏡均已各由數個透鏡組合所取代。圖23—6是以基本的單一透鏡構造說明顯微鏡的工作原理。物體置於物鏡焦點稍外，生倒立放大實像於目鏡的焦點稍內處；再經目鏡折射生放大虛像於明視距離處。

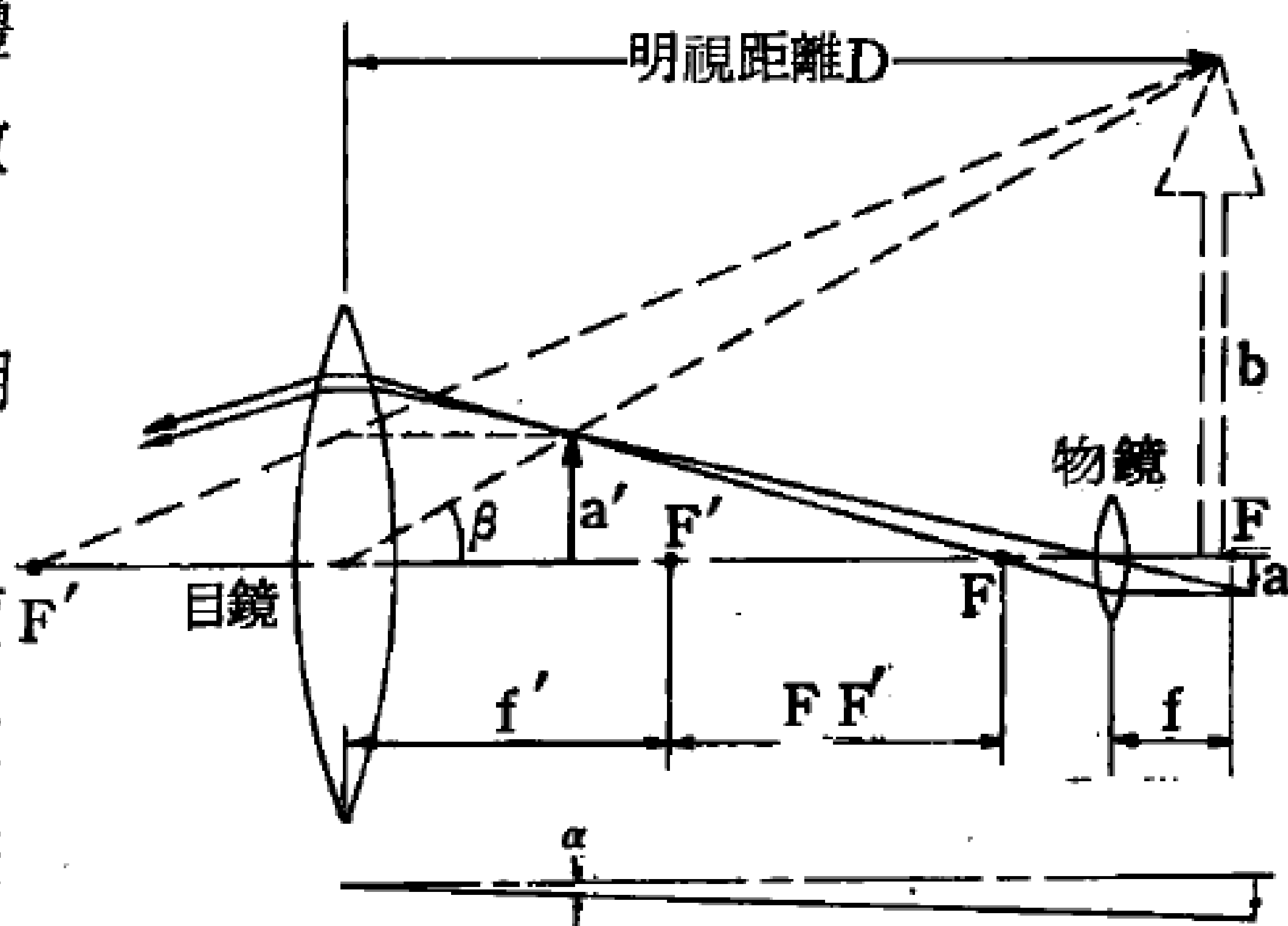


圖 23—6 放大率的原理

顯微鏡的放大率m爲經顯微鏡看物體時，爲在明視距離D處的虛像的視角β與把物體置於D距離處，直接看物的視角α的比。

求得虛像與物體的大小之比，則可求得顯微鏡放大率。又設物鏡、目鏡的焦距各爲f，f'，則

$$m=\frac{b}{a}=\frac{a'}{a}\cdot\frac{b}{a'}=\frac{FF'}{f}\cdot\frac{D}{f'}$$

式中FF'稱爲光學的筒長，D爲人的明視距離，約25cm。即有適當筒長時，顯微鏡放大率是目鏡與物鏡放大率的乘積

$$m=\frac{\text{光學的筒長}}{\text{物鏡焦距}}\times\frac{\text{25 厘米}}{\text{目鏡焦距}}$$

茲將顯微鏡的整體構造說明如下：

1. 機械構造 (如圖23—7所示)

a 爲鏡脚

b 鏡柱，是以螺絲軸與鏡腳相連，供移動顯微鏡時使用，並且可傾斜使用以便於觀測。

c 載物臺，上裝有試料玻片固定用金屬卡子的圓板。中央處有孔，可由下面導入光線。側面左右有螺絲使用於臺中心的調節或試料玻璃片的小移動。

d 鏡筒，在中型以上的顯微鏡，則有內筒與外筒的區別，內筒可拉長調節其筒長，內筒表面刻有毫米單位的分劃，而在製造廠所指定的長度處（普通爲170毫米處）刻有特別記號。

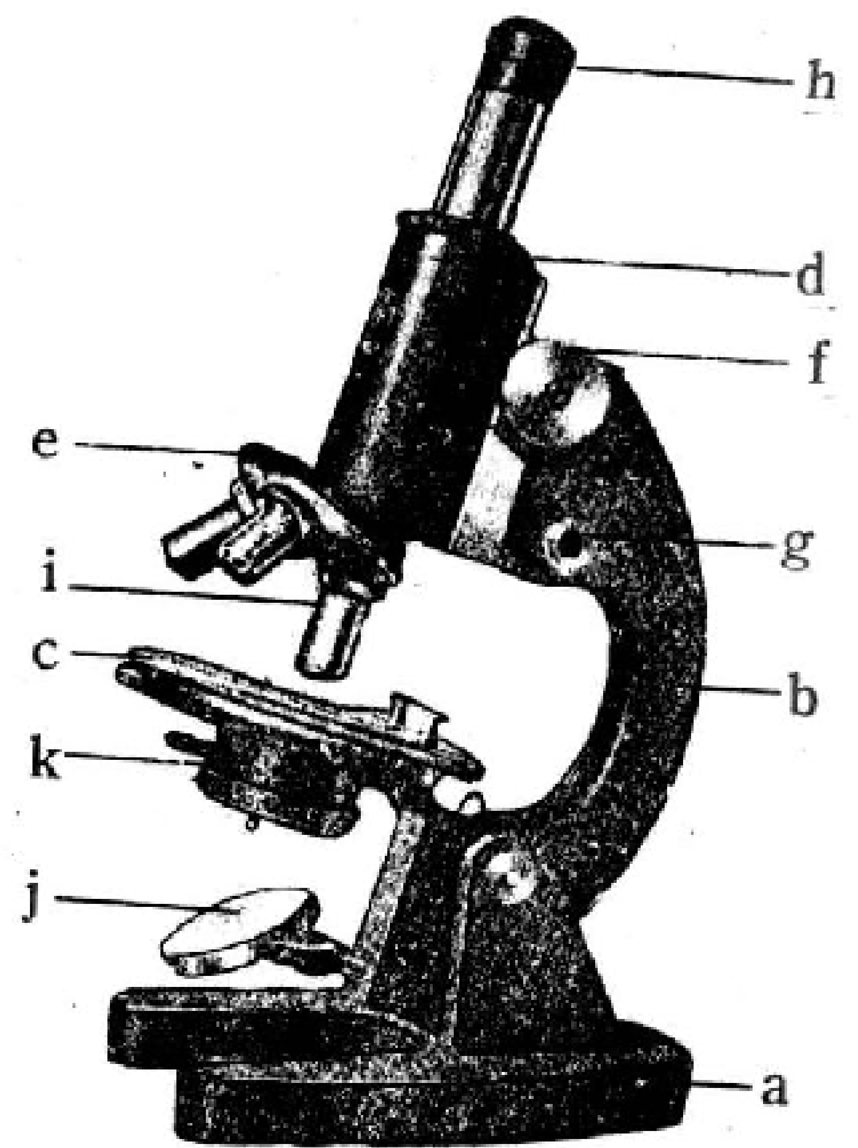


圖 23 — 7

e 換鏡轉盤，可由轉動迅速的能把 2 ～ 3 種物鏡交換的輪換器。

f 粗調節輪，使用於上下鏡筒。

g 細調節輪，其可動範圍很狹，使用於微細焦點調節用。

2. 光學構造

h 目鏡，裝置在鏡筒上面，中型以上的顯微鏡備 2 ～ 3 個不同倍率的鏡頭。普通由接眼透鏡與會聚透鏡構成，並在兩者中央處裝金屬圓板的固定光圈（如圖 23 — 8 ）。在目鏡邊緣處刻有倍率如“ 10 × ”等字。

i 物鏡，安裝在換鏡轉盤上，備有 2 ～ 3 種不同倍率的鏡頭。

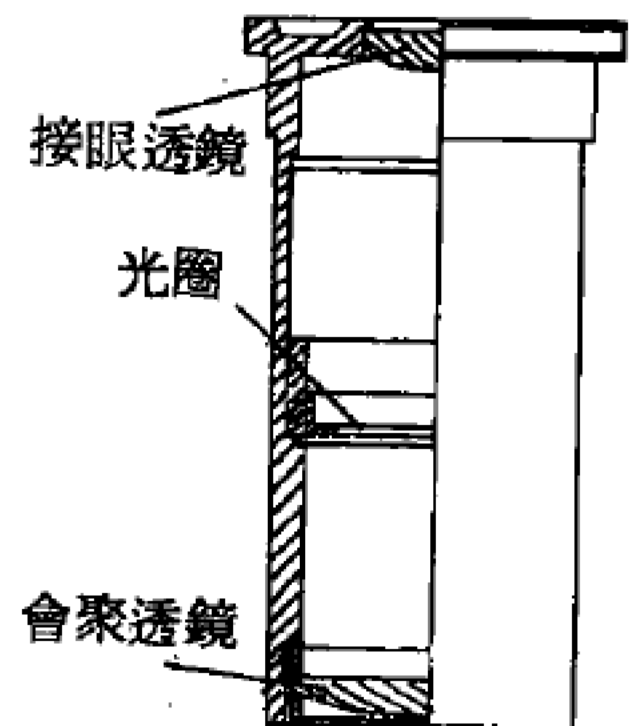


圖 23 — 8

j 反射鏡，可使用於把光線送到聚光器，一面爲平面鏡，而反面爲凹面鏡。可卸下而裝光源於原來鏡的位置。

k 聚光器，其使用於試料玻璃片上物體的照明。由邊緣螺絲的轉動可

上下移動，使物體明亮清楚，以便於觀測。

顯微鏡之使用法：

1.避免直射太陽光，輕輕置放於桌上。利用螺絲軸，把鏡柱稍向前傾斜。

2.把粗調節輪向前轉動，向上移動鏡筒，裝物鏡。轉動換鏡轉盤時，小心不要以手摸到鏡頭透鏡，手保持著轉盤邊緣，轉動它。

3.拉出內筒，使筒長與所規定的長度（在內筒分劃上有記號）一致。

4.把試料玻璃片置放於載物臺上，由旁邊用眼睛看著，利用粗調節輪把物鏡先端移到剛好在上面。

5.經過目鏡看著，把粗調節輪向前轉動，輕輕的將鏡筒向上移動。看到像以後，則利用細調節輪調節焦點。細調節輪使用前，先調節到分劃中央處較爲方便。

6.轉動反射鏡方向，使視野全體皆亮。利用自然光照明時則使用凹面，利用人工的平行光線時，則使用平面鏡。然後調節聚光器的光圈使有適當的照明。

7.顯微鏡如有裝聚光器，則上下調節使試料玻璃片上物體有適當的照明，又由此調節可增加鑑別率。

因物鏡的放大率，通常爲5～40倍，目鏡約爲3～20.倍，所以顯微鏡的放大率最大以800倍爲限。但若在物體與物鏡之間，充以折射率與透鏡接近的油時，則約可放大達2,000倍。

【顯像】（Developing）

顯像就是使已感光的底片顯出影像。其操作方法有二種：

1.沖片罐顯影法——沖片罐顯影法除了裝入軟片時需在暗室內操作以外，爾後操作都可在明亮地方做，並容易保持一定液溫等爲其特點。因此除了特別目的外，長尺寸的軟片皆利用沖片罐處理。

使用沖片罐顯像法時必須注意：(1)底片藥膜面必須面向沖片罐轆軸。(2)顯像時必須時加搖幌，但不必太用力，此一動作在避免底片上發生氣泡。

2. 沖片盆顯影法——軟片顯影使用沖片盒處理，因有容易產生由空氣泡引起的顯影不均，液溫容易變化及高感度軟片需在完全黑暗室內操作等缺點，故現在不常用。除了試驗目的剪短的軟片顯影以外，不再被使用了。如需利用沖片盆顯影時，應以兩手拿軟片兩端，使軟片依順序浸在液中操作顯影。

【顯像管】(Picture tube)

產生畫像的陰極射線管。

【顯像劑】(Developer)

顯像劑是一種能將軟片藥膜感光所生之潛影顯出的藥劑。

顯像藥品之性質如下：

1. 甲氨基酚 (*elon*, 即*metol*)——是性能極快速的顯像藥粉。能有效的顯像低曝光部。像顯出後的進行緩慢，低溫也不太會引起其性能降低。

2. 海特幾奴 (*hydroquinone*)——俗稱堅安，是甲氨基酚的補助劑，能增加底片陰影部分的清晰。

3. 亞硫酸鈉 (*sodium sulfite*)——加於顯像或定影藥液中能防止藥液的氧化作用，保持藥液效能。

4. 碳酸鈉 (*sodium carbonate*)——是一種促進劑。溶於水時發生顯著的溫度，以增加顯像劑的效能。

5. 硼砂 (*borax*)——主要功用在調和底片色調，使銀鹽微粒更顯勻細。量加多時，可使顯像效能加速。

6. 溴化鉀 (*potassium bromide*)——在節制顯像劑的快速作用，防止藥膜變化不勻。

顯像液之配製：

1. 顯影液（柯達D－76）

清水 52°C	750 c.c.
甲氨基酚	2克
亞硫酸鈉	100克
海特幾奴	5克
硼砂	2克

按上列次序將每種藥品放入清水中，至完全溶解再加第二種。全部溶解後將水加至1,000c.c.即可。這種顯影液適合中等陰陽差微粒軟片顯影用，能使陰影部分格外清晰。在華氏65°（18°C）時，普通顯像時間為18分鐘。

2. 微粒顯影液（柯達DK－20）

清水 52°C	750 c.c.
甲氨基酸	5克
亞硫酸鈉	100克
柯達爾克（kodalk）	2克
硫氰酸鈉	1克
溴化鉀	$\frac{1}{2}$克

配製方法如上。這種顯像液是專供微粒軟片用的，如欲將底片作極大倍數的放大時，用這種顯影液最為適宜。

任何一種配方的顯像劑，在溫度高時均比溫度低時的作用力大，因此在溫度高時的顯像時間必定縮短。

【驗音盤】（Siren disk）

測發音體振動數之器械。其構造如圖23－9所示，B為一金屬圓筒，其底有一管O，可從其處吹入空氣，筒之上蓋，設多個小斜孔，其距離相等；其上有同大之金屬圓板A，板上有與蓋上小孔同數同大之小

斜孔，惟其傾斜之方向相反，*A*板可繞垂直軸廻轉。*A*板之孔，與筒蓋之孔相對時，從*O*口送入空氣，由筒蓋之孔出，再經*A*板之孔而向上流，使*A*板廻轉。*A*板稍廻轉，則上下之孔相錯，空氣被阻，然瞬時後，廻轉而鄰近之孔又相對，空氣又發出上下之孔相合時，空氣出，*A*板上部之空氣濃密；上下之孔相錯時，空氣錮閉，*A*板上部之空氣稀疏，故始終不斷的從*O*送入空氣，則*A*板始終不斷廻轉，空氣中生疏密波而發音，圓板之廻轉急速時發高音，廻轉緩慢時發低音。

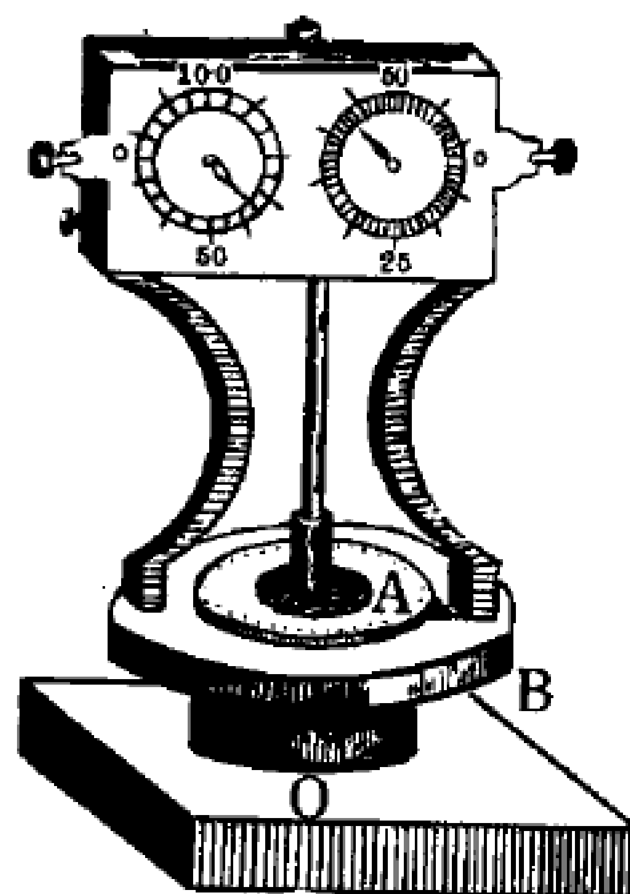


圖 23 — 9

用此器測發音體之振動時，先加減送入空氣之量。令驗音盤之音調，與所欲測之音調高低相同，如聞之相合爲一音，則兩音之振動數全相同。此時由圓板軸上之齒車，測得圓板之廻轉數爲n，復數圓*A*板上之小孔數得m，則其相乘積nm即所測之振動數。

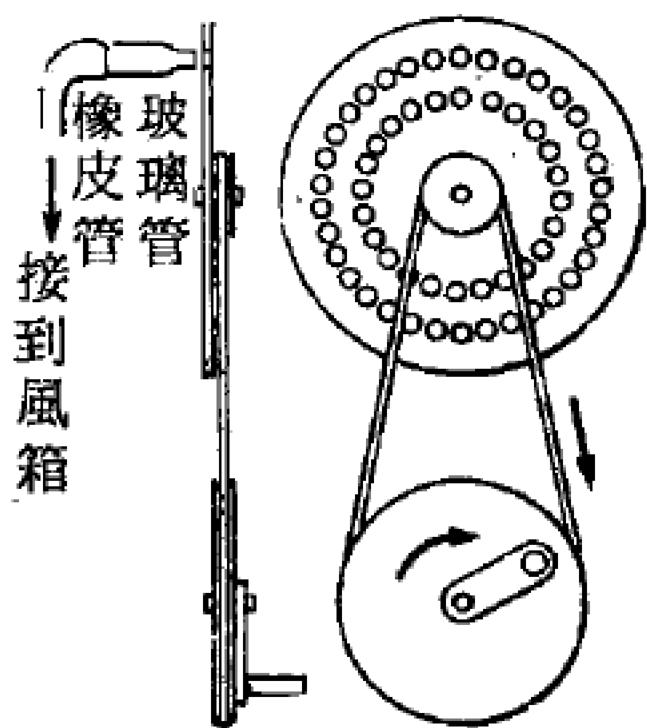


圖 23 — 10

圖 23 — 10 爲另一種簡單驗音盤，其上鑽有二層小孔，外層各孔間的距離均相同，內層小孔的距離則爲不規則。用驗音盤做音調實驗時，轉動圓盤，用管嘴噴出空氣吹圓盤。當管嘴與小孔正相對時則產生密部。管嘴與小孔不正對時則產生疏部。如此繼續轉動圓盤同時吹氣就可以產生疏密波。若小孔通過管嘴的次數愈多，聲音的音調就愈高。

【驗溫器】(Thermoscope)

指示體溫的變化，而不顯示準確變數之裝置。

【驗電器】(Electroscope)

檢驗電荷存在與種類的儀器稱爲驗電器。亦可用以區別導體與絕緣

體。通常所用為如圖 23 — 11 所示的金箔驗電器。用一玻璃瓶，絕緣瓶塞中插一金屬棒，棒的下端懸貼兩張金箔。

將待檢驗之物體與金屬棒上端的金屬板接觸，若此物體帶電，則金箔張開；若不帶電，則不張開，由此可檢驗是否有電荷存在。因電由棒傳至金箔，兩箔上帶有同種的電，彼此相斥，故兩箔張開成一定的角度，由此角度的大小，即可比較帶電體所帶電量的多寡。用帶電的物體緊近一個帶著電的驗電器上端的金屬球，如果物體上的電荷跟驗電器上的電荷是相同的話，金屬箔張開的角度就增大；如果是不同的話，金屬箔的張角就減小了。根據這種現象就可以判別物體帶何種電。

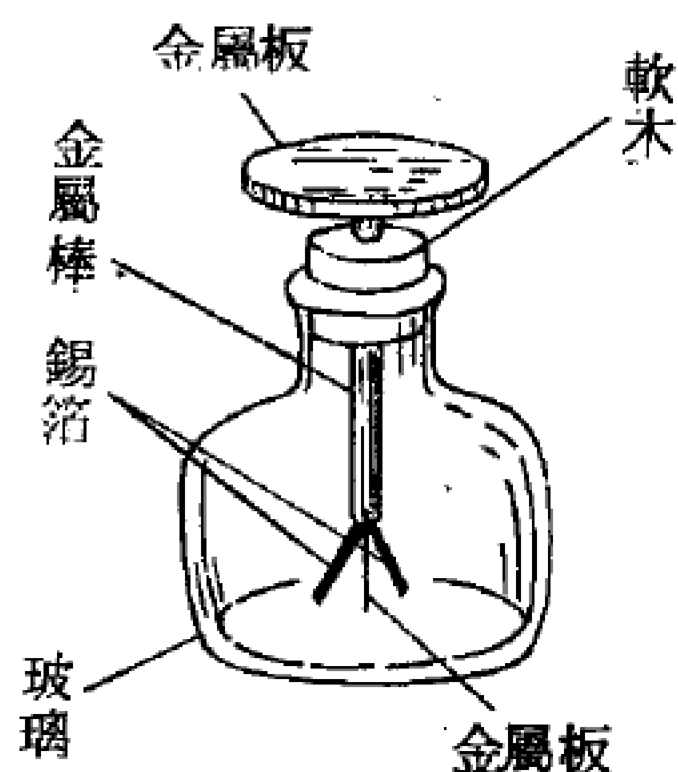


圖 23 — 11

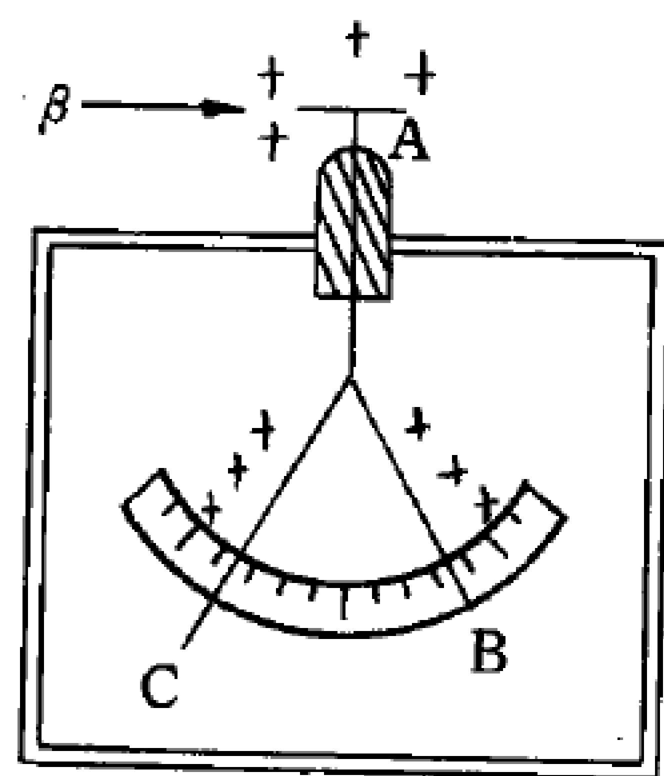


圖 23 — 12
驗電器測量輻射

金箔驗電器，也可以當作簡單之放射性偵測儀器（如圖 23 — 12）。驗電器充電後，兩片金箔因帶相同之電荷，即相斥而分開，此時如有放射 β 粒子之放射性源存在，則放出之 β 粒子與板 A 上之正電荷中和，B、C 張開之角度即行減小，由其角度之大小即可測定放射性之強弱。

【驗頻器】（Frequency monitor）

指出頻率偏差值之儀器。

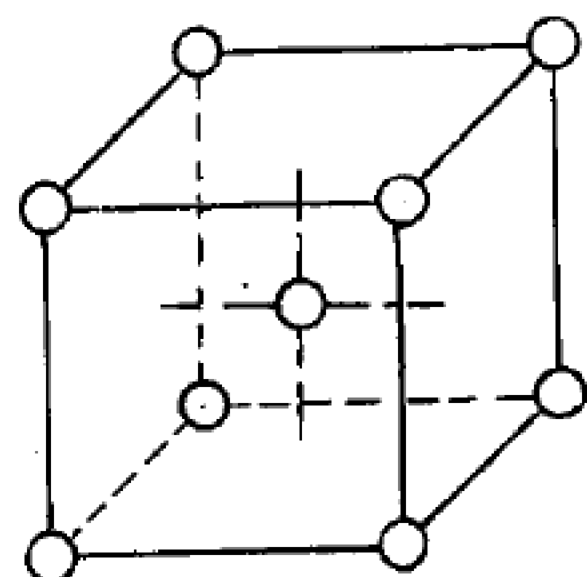
【體力】（Body force）

此種力並不是靠著與其他物體之直接接觸而產生的，例如重力、磁力等都是體力。它直接比例於一些分佈性的性質，例如物體之質量或電荷等等；並且分佈於全部之物體。如果物體密度 ρ，單位質量的體力為 G，則在一個體積單元 dV 內，所受之體力應為 ρGdV。如在重力之情

形，$\vec{G}=-g\vec{k}$（笛卡爾坐標系）。

【體心立方晶格】（Body-centered cubic lattice；B.C.C.）

通常體心立方晶格的單元是一正立方體，在其八個角頂及中心各有一晶格點，故稱之爲體心立方（如圖23—13），鐵（Fe）、鈉（Na）、鉀（K）、釩（V）、鉬（Mo）及鋇（Ba）均以此結構結晶。其基本位移向量是


圖 23—13

$$\vec{a}'=\frac{a}{2}(\vec{\hat{x}}+\vec{\hat{y}}-\vec{\hat{z}})$$

$$b'=\frac{a}{2}(-\vec{\hat{x}}+\vec{\hat{y}}+\vec{\hat{z}})$$

$$\vec{c}'=\frac{a}{2}(\vec{\hat{x}}-\vec{\hat{y}}+\vec{\hat{z}})$$

式中$\vec{\hat{x}}$、$\vec{\hat{y}}$和$\vec{\hat{z}}$各爲構成正立方體的直角坐標上的單位向量，a是正立方體的邊長，$\vec{a}'$、$\vec{b}'$與$\vec{c}'$任二向量間的夾角是$109°28'$。其初基單元的體積是$V=\vec{a}'\cdot\vec{b}'\times\vec{c}'=\frac{a^3}{2}$，其反商晶格的基本位移向量是

$$\vec{A}=\frac{2\pi}{a}(\vec{\hat{x}}+\vec{\hat{y}})$$

$$\vec{B}=\frac{2\pi}{a}(\vec{\hat{y}}+\vec{\hat{z}})$$

$$\vec{C}=\frac{2\pi}{a}(\vec{\hat{x}}+\vec{\hat{z}})$$

$\vec{A}$、$\vec{B}$和$\vec{C}$是面心立方晶格的基本位移向量，故體心立方晶格的反商晶格是面心立方晶格，反之亦然。若在體心立方晶格的各晶格點置一剛性球，且使各鄰近的剛性球相切，則被剛性球先塡的體積，佔全部空間體積的0.68，這比面心立方的0.74小，故體心立方晶格的堆集並不是一種最密堆集。體心立方的布拉菲晶體，習慣上的根基含有兩個原子。

【體積膨脹】（Cubical expansion）

物體當溫度增高時，由物體之各方向膨脹，即物體受熱而增加體積，叫做體積膨脹。

體脹係數爲物體之溫度每增 1°C，其體積變化量與 0°C 時體積之比值。設 0°C 時物體之體積爲 V_0，溫度升至 t°C 時，體積變爲 V_t，則

$$V_t = V_0 (1 + \beta t) \qquad (1)$$

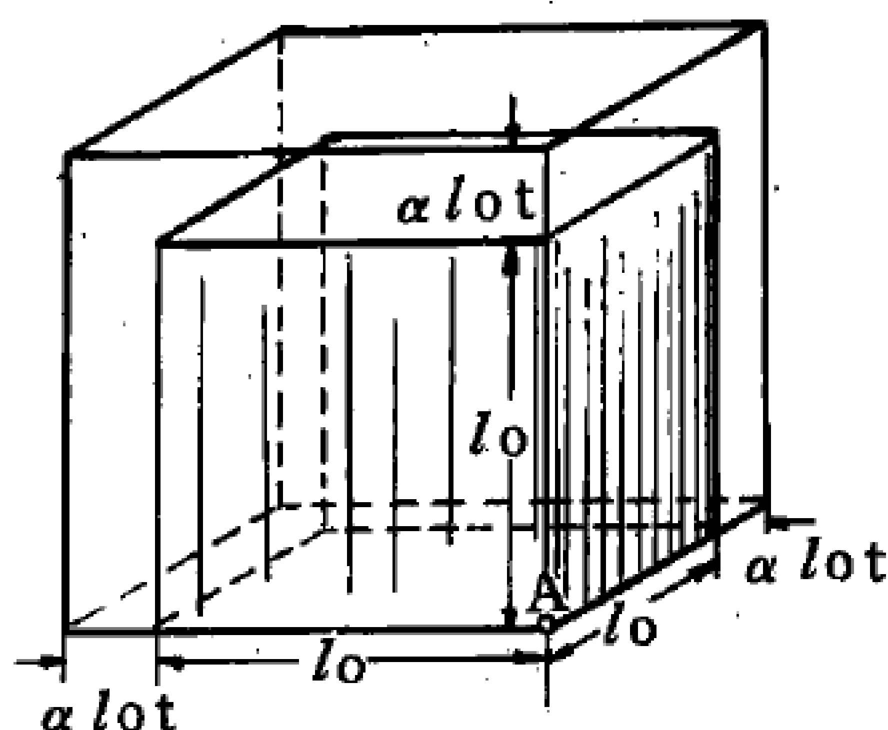


圖 23 — 14　固體之體積膨脹

β 即爲體脹係數。我們討論具各向同性之固體，因其受熱改變長度之百分率在各方向均相同。設固體於溫度 0°C 時之體積 V_0 爲一每邊長 l_0 之立方體；溫度增至 t°C 時，其相遇於 A 點之三邊中之每一邊 l_0（如圖 23 — 14），則膨脹爲 $l_0(1 + \alpha t)$，α 爲線脹係數。因此

$$V_t = [l_0 (1 + \alpha t)]^3$$
$$= l_0^3 (1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3)$$

α 值經常是很小的，故 α 的二次方及三次方項可略去不計。所以上式可寫成

$$V_t = l_0^3 (1 + 3\alpha t)$$
$$= V_0 (1 + 3\alpha t) \qquad (2)$$

（2）式中之 3α，相當於（1）式中之 β，即 $\beta = 3\alpha$。這就是說固體的體脹係數等於線脹係數的三倍。

【體視】（Stereoscopic vision）

以左眼或右眼分別看一物體時，因爲每一眼對物體的視角不同，故所見物像彼此稍有差別。若以兩眼同時觀看一物體時，則由於兩眼對物體的不同視角，則所見者爲物像的立體圖，如同吾人利用雙耳聽時可以辨別正確聲源一樣。

【體視鏡】（Stereoscope）

於角度微異處攝製之二張照片，置此鏡前以雙目自鏡後觀之，呈立體景象。

【體脹係數】(Coefficient of cubical expansion)

物體溫度每升 1°C，所增加的體積與 0°C 時的體積之比，叫做體脹係數。設物體 0°C 時之體積爲 V_0，溫度上升至 t°C，其體積爲 V_t，則體脹係數

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{tV_0}$$

參閱“體積膨脹（*Cubical expansion*）”條。

【體載量】(Body burden)

在應用輻射學（*Radiology*）上，所謂體載量係表示某一定時間之輻射物質所含之總量。

【體脹係數與線脹係數之關係】(Relation of coefficient of cubical and linear expansion)

體脹係數約等於線脹係數之三倍。茲以數學證明如下：

令 0°C 時物體之容積爲 V_0，t°C時其容積爲 V，體脹係數爲 β，則得 $V = V_0 (1 + \beta t)$。又令容積 V_0 之物體每邊爲 l_0，容積 V 之物體每邊爲 l，線脹係數爲 α，則得

$$l^3 = V \quad ; \quad l_0^3 = V_0 \quad ; \quad l = l_0 (1 + \alpha)$$

$$\therefore V = V_0 (1+\beta t) = l_0^3 (1+\beta t)$$

$$= l^3 = l_0^3 (1+\alpha t)^3$$

$$1 + \beta t = 1 + 3\alpha t + 3\alpha^2 t^2 + \alpha^3 t^3$$

因爲 α 爲線脹係數，其數甚小，故其平方以上之項可以省略不計。卽

$$1 + \beta t = 1 + 3\alpha t$$

$$\therefore \beta = 3\alpha$$

故體脹係數約等於線脹係數的三倍。

【體積】(Volume)

體積的單位爲長度的立方數，如立方厘米、立方米，每邊長一厘米的立方體的體積爲一立方厘米。一千立方厘米的容積稱爲一公升。

如果二物體在形狀上完全相似，那麼這兩個物體對應邊的長度比都相同。它們體積大小的比，就是它們對應邊大小比值的立方，而其對應表面積的比值是對應邊長比值的平方。

固體體積的測定，有下列數種方法：

1. 利用計算的方法——有規則形狀的物體，可測定所需部分長度，以計算求出體積。不規則形狀物體，則不能以計算求其體積。例如圓柱體積，即可以直徑和高度之平均值代入公式$V=(\frac{D}{2})^2\pi h$求得。

2. 利用量筒的方法——利用液體的置換測定體積。先在量筒內裝適量的水，讀取水面刻度V_0，然後放入不起化學反應或不溶解的物體，讀取上升水面的刻度V_1，如圖23—15(*a*)，體積則爲

$$V=V_1-V_0$$

如果固體不易裝入於量筒時，則放在另一容器內，利用虹吸管引出所增加的水，用量筒量此水量也可以。此時如果使用肥皂水，則由於在虹吸管出口的半球形水滴所受到的表面張力所引起的壓力差比較小，而有較好的結果，如圖23—15(*b*)所示。

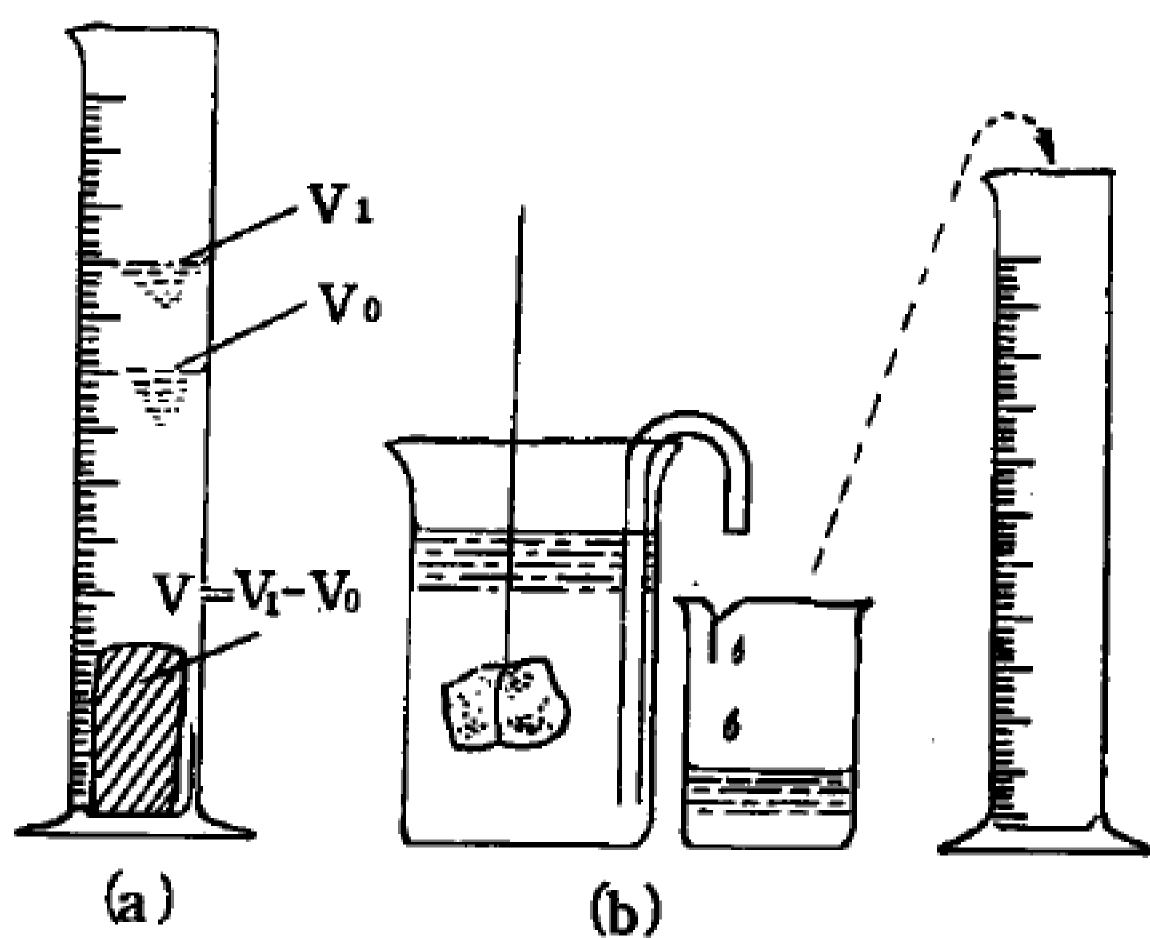


圖23—15

3. 利用秤的體積測定——利用阿基米德原理求浮力而測定體積的方法，比前面兩法精確度高。

(1)比水重的固體——用線把金屬塊吊在天平上，測定在空氣中的正確

質量W。利用有燒杯架的天平，如圖23—16方法測定在水中質量W'。然後測定此時水溫t，則所求體積為

$$V=(W-W')\times\frac{1}{\rho_t}$$（ρ_t為$t^{\circ}C$水的密度）

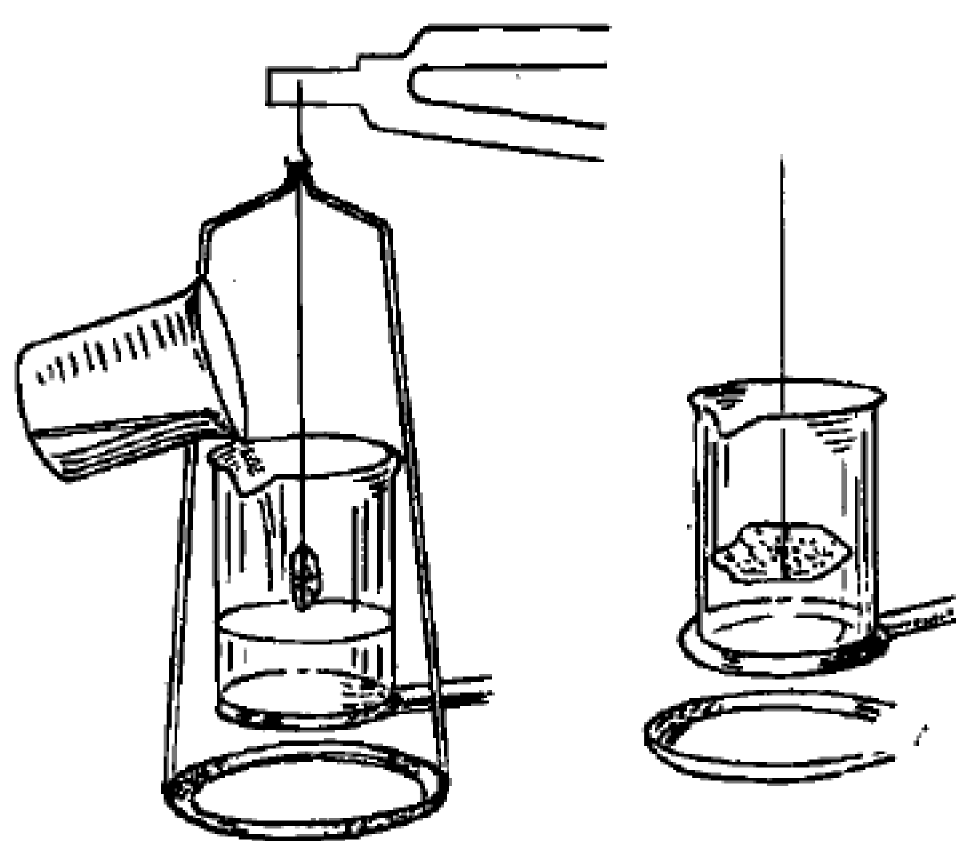


圖23—16

(2)比水輕的固體——用線繫結軟木與重墜物（金屬塊），先只把重墜沉在水中測定其質量W_1。然後使軟木與重墜同時沉在水中如圖23—17，測定其質量W_2。然後測定此時水溫t。則所求體積為$V=(W_1-W_2)\times\frac{1}{\rho_t}$（$\rho_t$為$t^{\circ}C$水的密度）

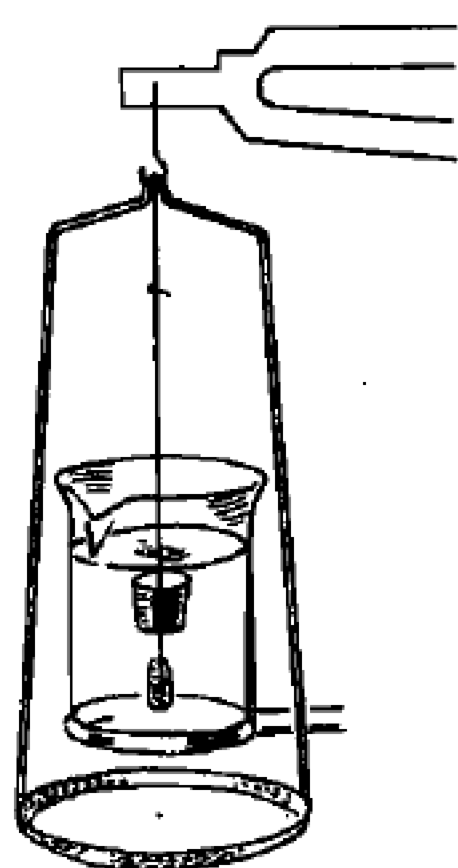


圖23—17

4.利用比重瓶方法——適用於測定粒狀固體的體積，而利用與液體置換的質量求出。測定比重瓶質量W_0，比重瓶內裝粒狀物體如砂粒，測定其質量W_1。再加滿水，此時質量為W_2。在比重瓶內只裝滿水，測定此質量W_3，並測定所使用的水的溫度$t^{\circ}C$。所求體積為

$$V=(W_1+W_3-W_0-W_2)\times\frac{1}{\rho_t}$$（ρ_t為$t^{\circ}C$水的密度）

【體積計】（Volumenometer）

為藉度量固體所置換之液體量，以定其體積之裝置，謂之體積計。有量筒、量瓶、滴定管、吸管等。

【體積變化之測定】（Determination of volume change）

1.液體體積變化的測定——可由膨脹計測定視膨脹量，而求出體積變化量。膨脹計為有刻分劃的毛細管，上端為漏斗形，在下端有裝液體槽與管閂。裝酒精到最下端分劃的稍微上面處，測定此時體積V c.c.與溫度$t^{\circ}C$。再把此膨脹計放置於恆溫槽內，使它儘量浸在槽內，測定恆

溫槽溫度 $t'°C$ 與所移動的液面量 v c.c. 。設玻璃的體膨脹係數爲 β ，體積變量則爲

$$\Delta V = v + V \cdot \beta \cdot (t - t')$$

毛細管容積，應預先使用水銀作精密測定。因要放在恆溫槽內，但管閂部分容易漏出液體，故隨著所使用液體種類，有時必須在管閂磨玻璃處塗管閂膏，如果還有漏液情形，則在管閂口端處裝橡皮管與水銀槽，把水銀槽擡高，使水銀裝滿膨脹計後，在其上方漏斗形部分，裝入欲測液體。把水銀槽降下，液體則被吸入於膨脹計液體槽內，使有一些水銀留在管閂上面的狀態下，關閉管閂，取掉橡皮管與水銀槽，把膨脹計置於恆溫槽內作實驗，這樣就不會有漏液情形。

2. 氣體體積變化的測定——把 L 字型玻璃管與溫度計插進橡皮塞蓋緊燒杯，密封之。使玻璃管保持水平，裝入著色的水滴。如圖 23—18 所示，把燒杯浸在水槽內水中，用分劃板讀取此時溫度，並讀取水滴位置的分劃。將水槽內的水換爲溫水，再把燒杯置於水中，讀取此時溫度，並讀水滴位置。

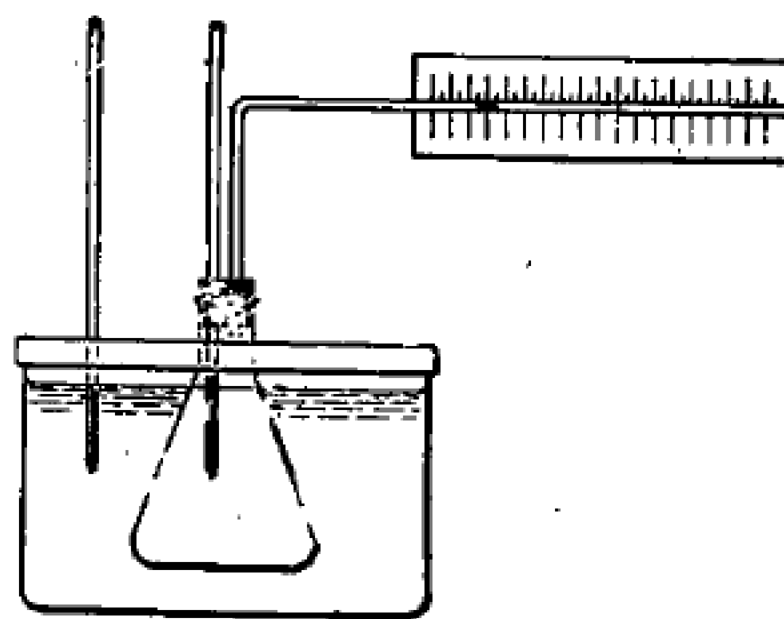


圖 23—18

設玻璃管的半徑爲 r 厘米，水滴移動的長度爲 l 厘米，體積變化量 ΔV 則爲

$$\Delta V = \frac{\pi r^2 l}{t' - t}$$

玻璃管半徑 r 的測定法，是在玻璃管內裝水銀約 5 厘米，測定其長度 L 厘米。倒出此水銀測定其重 W（克）。半徑 r 則可由下式計算之：

$$r = \sqrt{\frac{W}{3.14 \times L \times 13.6}}$$

【體積彈性係數】（Bulk modulus）

若將壓力Δp加於各向同性（*isotropic*）的彈性體時，其物體每單位體積被壓縮$\frac{\Delta V}{V}$（ΔV表所減少的體積，V爲原有之體積），則Δp和$-\frac{\Delta V}{V}$的比數

$$B=\frac{\Delta p}{-\frac{\Delta V}{V}}$$

即

$$B=-V\frac{dp}{dV}$$

稱爲體積彈性係數。物體被壓縮時，若其溫度被保持一定，B就稱爲等溫體積彈性係數；若被壓縮時無熱進出物體，B就稱爲絕熱體積彈性係數。今分別以B_θ和B_s表示，即

$$\text{等溫體積彈性係數}\quad B_\theta=-V\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_\theta$$

$$\text{絕熱體積彈性係數}\quad B_s=-\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_s$$

式中θ、s分別表示溫度和熵。

體積彈性係數的倒數

$$k=\frac{1}{B}$$

稱爲壓縮率。

參閱“壓力波（*Pressure wave*）”條。

【體膨脹率】（Expansivity）

在基本物理學中，有一個量叫做平均體脹係數（*average coefficient of cubical expansion*）。它被定義爲

$$\text{平均體脹係數}=\frac{\text{每單位體積的體積變化}}{\text{溫度的變化}}$$

並以壓力保持一定的狀況爲準。若使溫度的變化量爲無限小，體積的變化也就是無限小，便得到瞬間體膨脹率或僅稱爲體膨脹率。

$$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial \theta}\right)_P$$

嚴格地說，β 是 θ 和 P 的函數，但有許多物質的 β 對 P 的變化很不敏感，並且只隨 θ 作稍微的變化。因此，我們認爲在溫度的小範圍內，β 可以當成常數看。β 的單位是度的倒數。

二十四畫

【靈敏度】(Sensitivity)

任何測量儀器都是利用一定的裝置來間接表示所要測量的量的大小。常用的測量儀表大都是用指針在刻度表上所移動的格數來表示的。一個測量儀器的靈敏度，就是當所需要測量的量改變一個單位數值時，指針在刻度表上移動的距離。這距離愈大，則靈敏度愈高；距離愈小，靈敏度愈低。

例如兩個伏特計，在電壓相同時，若一個的指針偏轉的角度大，而另一個較小，則表示前者的靈敏度比後者高。無線電收音機能夠接收遠地弱電臺的本領，叫做收音機的靈敏度。

【靈敏度控制】(Sensitivity control)

就是改變接收機增益的大小。同一架接收機，應當是既可用來接收附近的電臺(此種電臺在接收機輸入端產生很大的電壓)，也可用來接收遠地的電臺(此種電臺在接收機輸入端所產生的電壓較前者小到千萬分之一)。爲了在這兩種情況下都能在接收機的輸出端獲得相同的電壓(爲正常音量的接收所需的電壓)，必須在很寬的範圍內改變接收機的增益。通常是利用改變接收機的高頻或中頻放大來實現靈敏度控制。爲此目的便採用了專門的電位器來改變高頻或中頻放大電子管柵極(控制柵或簾柵)上的電壓。在輸入信號的強度發生變化時，應重新選擇電位器的位置，以獲得正常的接收音量。

【靈敏繼電器】(Sensitive relay)

凡繼電器使用時所需之電流甚少，約在 10 毫安以下者，均稱爲靈敏繼電器。

【驟雨】(Sudden rainstorm)

夏日中地面十分炙熱，易形成劇烈的上升氣流，因而產生亂積雲。

下午這亂積雲通過上空時，會落下傾盆大雨，亦有雷聲，此即稱爲驟雨。

【鹼土金屬】(Alkaline earth)

週期表第ⅡA族的元素，包括鈹 (*Be*)、鎂 (*Mg*)、鈣 (*Ca*)、鍶 (*Sr*)、鋇 (*Ba*)、鐳 (*Ra*) 等元素。爲銀白色金屬，化學性亦活發，在水中生成鹼及氫氣，其氧化物多爲白色粉末，不易溶於水，熔點極高，爲構成岩石之重要成分，此爲鹼土族命名的由來。此種金屬之氧化物極宜於作放射電子用，部分電子管的陰極採用之。

【鹼性蓄電池】(Alkaline battery)

蓄電池所用的電解液爲鹼溶液，則稱爲鹼性蓄電池。如愛迪生蓄電池，它的電壓要較酸性爲低，但其製造堅牢耐用。

【鹼金屬】(Alkali metal)

週期表中第ⅠA族元素，依原子量大小爲鋰 (*Li*)、鈉 (*Na*)、鉀 (*K*)、銣 (*Rb*)、銫 (*Cs*) 及鍅 (*Fr*)。鹼族元素皆爲柔軟金屬，銀白色，熔點甚低，亦易揮發，具有極強的正電性，化學性極爲活潑，與水作用劇烈，生成氫氣及鹼。在自然界中常以鹵素或其他酸基生成之鹽類存在。

【鹼金屬原子光譜】(Atomic spectrum of alkaline metal)

鹼金屬原子的光譜線中，從分光學實驗大致顯示四個線系。這些線系的譜線波長可歸納成下面四個公式：

1. 主線系 (*principle series*)

$$\frac{1}{\lambda}=R\left[\frac{1}{(1+S)^2}-\frac{1}{(n+P)^2}\right]\quad n=1,2,3,4,\cdots\quad(1)$$

2. 銳線系 (*sharp series*)

$$\frac{1}{\lambda}=R\left[\frac{1}{(1+P)^2}-\frac{1}{(n+S)^2}\right]\quad n=2,3,4,\cdots\quad(2)$$

3. 漫線系（*diffuse series*）

$$\frac{1}{\lambda}=R\left[\frac{1}{(1+P)^2}-\frac{1}{(n+D)^2}\right] \quad n=1,2,3,4,\cdots \quad (3)$$

4. 基線系（*fundamental series*）

$$\frac{1}{\lambda}=R\left[\frac{1}{(1+D)^2}-\frac{1}{(n+F)^2}\right] \quad n=2,3,4,5,\cdots \quad (4)$$

R 是芮得柏常數（*Rydberg constant*）。S，P，D與F則是四個不同的常數，視元素而定。圖 24—1 爲鈉原子的前三個線系。

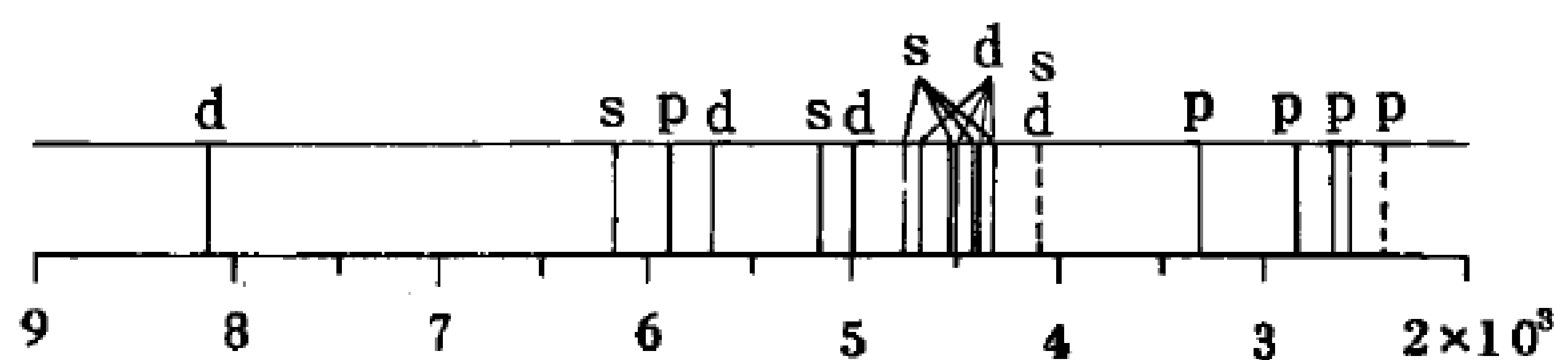


圖 24—1

鈉原子的線光譜，其中包括主線系 p，銳線系 s，與漫線系 d（銳線系的第一條線不在內）。圖中單位是Å。

實驗又顯示主線系必定出現在吸收光譜內，圖 24—2 顯示這種吸收光譜的一部分。

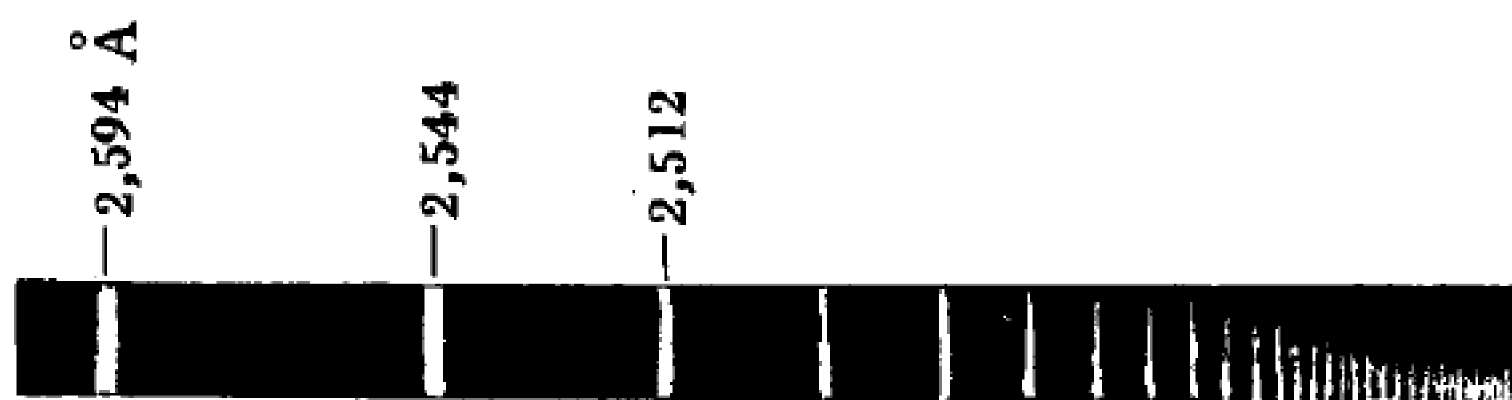


圖 24—2　鈉原子的吸收光譜，顯示其主線系的一部分。

由（1）至（4）式我們可以看出，所放出光子的頻率是和二項能量的差成正比。因此，我們可以得到原子中電子的能階。對鈉原子來說，可以寫成

$$\left.\begin{aligned} E_{nS}&=\frac{-hRc}{(n-2+S)^2} \\ E_{nP}&=\frac{-hRc}{(n-2+P)^2} \\ E_{nD}&=\frac{-hRc}{(n-2+D)^2} \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

$$E_{nF} = -\frac{-hRc}{(n-2+F)^2}$$

暫時不管分母中的$n-2$，比較(5)式與前面四個式子，可得：

主線系 $\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{hc}\left[E_{nP}-E_{3S}\right]$ $n=3,4,5,\cdots\cdots$

銳線系 $\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{hc}\left[E_{nS}-E_{3P}\right]$ $n=4,5,6,\cdots\cdots$

漫線系 $\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{hc}\left[E_{nD}-E_{3P}\right]$ $n=3,4,5,6,\cdots$

基線系 $\frac{1}{\lambda}=\frac{1}{hc}\left[E_{nF}-E_{3D}\right]$ $n=4,5,6,\cdots\cdots$

圖 24—3 爲鈉的價電子的能階，以及由能階跳渡而產生的各線系，左邊畫著氫原子中電子的能階作爲比較；右邊所註的度量爲能量(單位eV)，其中3 S的能量最低。當原子被外來輻射所激發時，其價電子就從3 S被激發至較高的能態。這可以解釋爲甚麼只有主線系才存在於吸收光譜中。

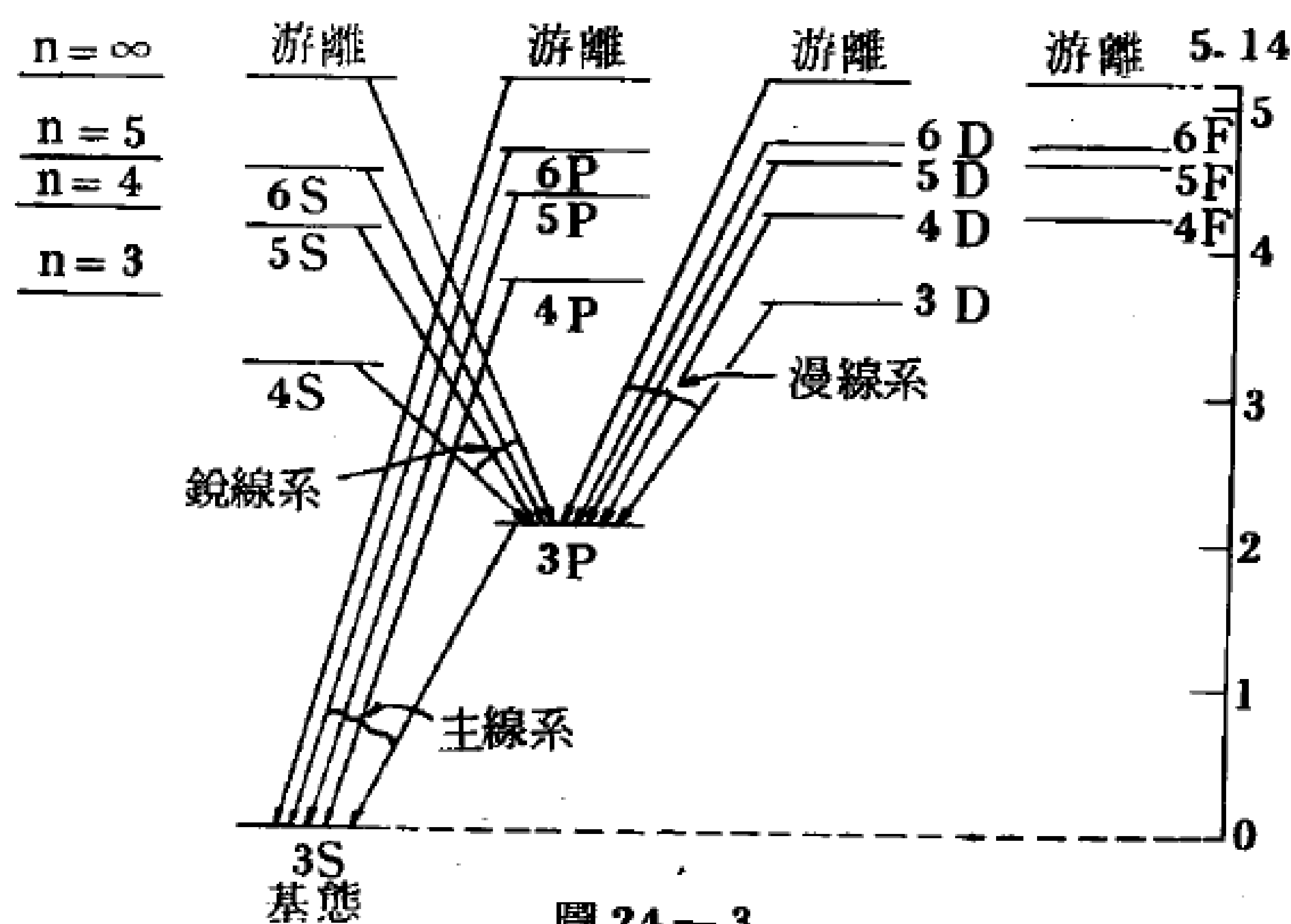


圖 24—3

二十五畫

【觀劇鏡】(Opera-glass)

觀劇鏡爲望遠景時使用之遠鏡，物鏡用凸透鏡，而目鏡用凹透鏡，以此對遠景，則遠景生倒立實像於物鏡前，隔目鏡觀之，見其像爲直立，以此種遠鏡一樣者兩個相合，俾能置於左右兩眼前以窺物體。又其兩目鏡連於一框，由螺旋裝置，可同時進退，以應物體之遠近而合光，俾能見之明瞭。

【鑭】(Lanthanum ; La)

鑭爲週期表第三族元素，卽稀土金屬元素，原子序爲 57 。爲銀白色具延展性的金屬，在空氣中迅速氧化。比重6.18，熔點 920°C，沸點 4,200°C，溶於酸，能將水分解產生氫氧化鑭及氫氧。

【鑭系元素】(Lanthanide elements ; Lanthanoids)

又稱爲稀土元素(*rare earths element*)，從原子序數57 的鑭到 71 的鎦，此系所有金屬元素的化學性質都與鑭相似，在週期表中共佔一個相同的位子。各鑭系元素的名稱及原子序數列如下：

鑭(*lathanum* , $_{57}La$)　　鈰(*cerium* , $_{58}Ce$)
鐠(*praseodymium* , $_{59}Pr$)　　釹(*neodymium* , $_{60}Nd$)
鉅(*promethium* , $_{61}Pm$)　　釤(*samarium* , $_{62}Sm$)
銪(*europium* , $_{63}Eu$)　　釓(*gadolinium* , $_{64}Gd$)
鋱(*terbium* , $_{65}Tb$)　　鏑(*dysprosium* , $_{66}Dy$)
鈥(*holmium* , $_{67}Ho$)　　鉺(*erbium* , $_{68}Er$)
銩(*thulium* , $_{69}Tm$)　　鐿(*ytterbium* , $_{70}Yb$)
鎦(*lutecium* , $_{71}Lu$)

其中鈰至釤又稱爲鈰副族，銪至鎦稱爲釔副族(*Yt* , *yttrium* ;原子序 39 ，亦視爲稀土元素)。此族元素因其電子結構中僅其 4 *f* 軌道中

子數目不等，最外層電子均爲 $6s^2$ $6p^1$ $5d^0$ $4f^n$，故各種性質均相
，其礦物亦共生且不易分離。各元素均爲可延展之金屬，有順磁性，
導熱性強，爲強還原劑，可與水緩慢作用，易溶於酸。

鑭系元素最重要的礦物爲磷鈰鑭礦〔 $(Ce, La) PO_4 \cdot ThO_2$ ，
monazite 〕及〔 *bastnaisite* ，$(Ce, La) CO_3 \cdot F$ 〕等。各元素之
分離以往爲極困難的工作，近年來利用離子交換樹脂法可完全分離。不
純之稀土元素混合金屬稱爲鈰混金（ *misch* ），含有鑭 22%、鈰 50
%、釹 18%、鐠 5%、釤 1%及少量其他元素。鈰混金用作打火機中之
石。

參閱“稀土元素（ *Rare earth element* ）”條。

【鹽】(Salt)

鹽是氯化鈉的結晶，其爲離子化合物，溶於水時以鈉離子和氯離子
存在，可以導電，在人體內亦擔任重要的生理功能。

二十七畫

【鑽石晶體】(Diamond - like crystal)

碳(C)、矽(Si)與鍺(Ge)的原子不能形成離子晶體或分子晶體。碳原子外層有4個電子，它不能放棄4個電子或獲得額外的4個電子以形成一個閉合殼層(*closed shell*)。假如它放棄了4個電子，將會因強烈的正電荷，立即再奪回一些電子。如它形成了一個8個電子的閉合殼層，則其額外的4個電子將會產生極強烈的負電荷，致使此閉合殼層裂開而驅走一些電子。此外，它也不能如同N_2一般形成穩定的C_2分子。因爲如有另外一碳原子相接近，則會形成C_3，再加一碳原子則形成C_4，以此類推。這正是此一問題的癥結：無論多少碳原子均可聚集在一起形成一個大分子，可稱它爲C_{1075} 或其他任何名字。鑽石中百萬個碳原子堆積在一起是一個分子，而一片微小的石墨(*graphite*)也是一個大的碳分子。

電子在晶體氮內運行的情形，與在普通氮分子內運行情形幾乎完全相同。電子在$NaCl$ 晶體內環行鈉離子或氯離子的軌道，與環繞單獨的Na^+或Cl^- 離子的軌道也是完全相同的。可是在碳晶體內的情形則有所不同。當碳原子單獨存在時，電子圍繞著每個獨立的原子運行。當許多碳原子聚在一起，大家分享其所有的電子時，軌道則完全不同。每一原子的外層4個電子，爲所有的原子所共有，而且它們的軌道與鄰近4個原子的電子軌道起同步作用，比一相鄰原子間的相互合作，遂使兩個電子在兩原子間來回運行，而生成一個原子的組合鍵(*bond*)。這與獨立原子中的電子大不相同，但與氮分子中的氮

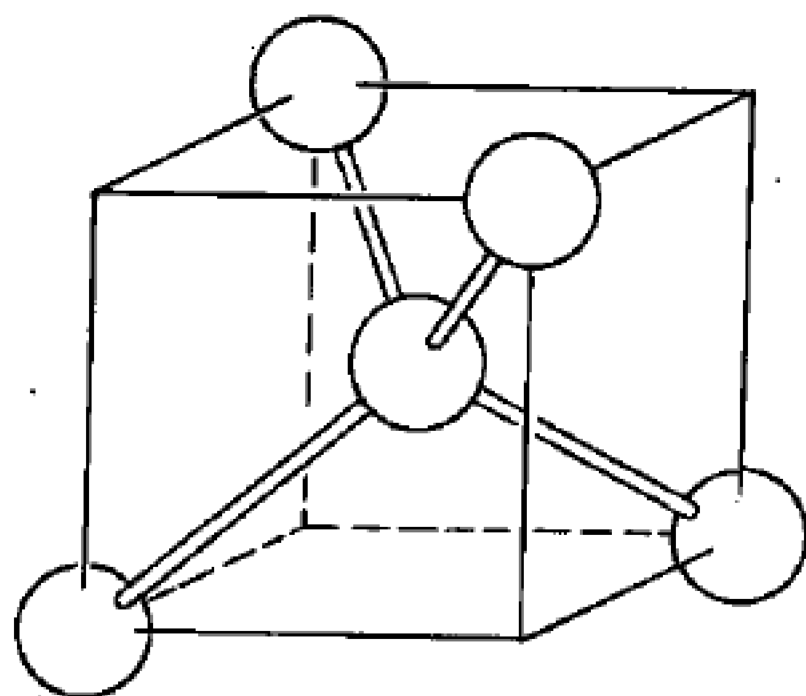


圖27—1
鑽石、矽與鍺晶體中鍵的四面體排列情形。

原子鍵以及氧分子中的氧原子鍵是一樣的。在碳分子內，4個電子以鍵與4個碳原子相連，這4個原子每一個又與4個碳原子相連，以此類推，因此每個碳原子均被另4個原子所圍繞，而排成一四面體（*tetrahedron*）（如圖27—1）。許多這種四面體連在一起，即成鑽石晶體構造。在此種晶體內，碳原子鍵中的電子是在整個晶體內運行，但每一鍵經常會有兩個電子，每當一個電子離開，便會有另一個電子進來補充，永遠保持均衡的狀態。

【鑽孔器】（Drill）

裝配接收機或發射機底板使用的工具。

二十八畫

【鑿孔機】(Perforator)

用來將發報紙條穿孔(打洞)的機器。孔在紙條上的一定排列位置,對應著發報機所發送的電報符號。

其　他

【*C*光譜線】(C - line)

波長6,562.8 Å的譜線。

【*C*電池組】(C - battery)

供給偏壓的電池組。

【*C*・*G*・*S*・單位】(C.G.S. units)

物理學中的三個基本量爲長度、質量及時間，各取厘米(*cm*)、克(*g*)、秒(*sec*)作爲單位時，則由這種單位組合而導出的單位稱爲*C.G.S*.單位。

詳閱“厘米、克、秒制(*C.G.S. system*)”條。

【*C.P.T.*不變性】(C.P.T. invariance)

所謂*C.P.T.* 不變性，是說在將所有的時間與空間坐標改成負值後，並將所有的粒子都變換爲它們的反粒子，則所有的物理定律的形式將不會改變。其中*C*代表電荷共軛，*P*代表空間反置，*T*代表時間倒置。

【*D*光譜線】(D - line)

謂鈉光譜中二條黃線，其一爲D_1，波長爲5,889.95 Å，另一爲D_2，波長爲5,895.92 Å。

【*F*心】(F - center)

一簡單形式的光中心。

【*F*・*P*・*S*・制】(F.P.S. system)

英制單位；力的單位爲磅達(*poundal*)，即作用1磅(*pound*)質量的物體的力，產生1呎/秒^2(*foot/second*^{2})的加速度者，謂1磅達的力。

$$1\text{磅達}=1\text{磅}\times1\text{呎/秒}^2$$

【*jj*耦合】(j j coupling)

在較重元素中，各個原子的自旋S_i與軌角動量l_i之間的磁交互作用太強，以致這兩量子數結合，成爲各電子的總角動量j_i，即

$$j_i = S_i + l_i$$

在支殼層上所有電子的角動量j_i，再結合而成原子的總角動量J，

$$J = \Sigma j_i$$

這稱爲jj耦合。

【K空間】（K - space）

即動量空間（*momentum space*），或波向量空間（*wave vector space*）。

【K殼層】（K - shell）

原子組態中，圍繞原子核的電子之最內殼層；這一殼層由K電子（即1s電子）所組成。

【K層電子】（K - electron）

在K層球殼軌道的電子。

【K線系】（K - series）

在原子受高能電子撞擊時，其內層電子可被擊出而游離。若有一1s電子或K電子被擊出，則原子中能量較高之電子會躍遷至K電子的空位中而放出X光，稱爲X光譜的K線系。

【K譜線】（K - line）

X光譜中的一條特殊光譜線。

【L - S耦合】（L - S coupling）

當電子與電子間的交互作用甚大於軌道，自旋交互作用時，即形成L - S耦合。

參閱“拉塞耳、桑德士耦合（*Russel-Saunders coupling*）”條。

【L殼層】（L - shell）

原子中圍繞著原子核的第二殼層電子。第一殼層或者最內層稱爲*K*-殼層，除氫原子外，其餘各元素的*K*殼層都有二個電子。

氖元素（原子序數＝10）中其*L*殼層由8個電子組成，所有原子序數大於10的元素，其*L*-殼層均有8個電子

【*L*層電子】（L－electron）

*L*軌道的電子。

【*L*線系】（L－series）

根據柯色耳（*Kossel*）對標識*X*射線（*characteristic X-ray*）的理論，認爲當高速的電子射入靶內時，與組成靶的原子相撞，因之將原子外層的電子擊出軌道，發生電子躍遷現象，使原子發射標識*X*射線。當*K*層（$n=1$）的電子被擊出時，*L*層（$n=2$）*M*（$n=3$）或*N*（$n=4$）層上的電子將隨即躍遷到*K*層，以填補*K*層上的電子空缺，即發射*K*系*X*射線。同理，如*L*層上的電子被擊出，則能量高於*L*層（$n>2$）例如*M*、*N*或*O*層的電子也會躍遷到*L*層，如此所產生的標識*X*射線稱爲*L*系*X*射線。圖1所示爲原子因電子躍遷發射標識*X*射線的方式，以及諸線系間的關係。

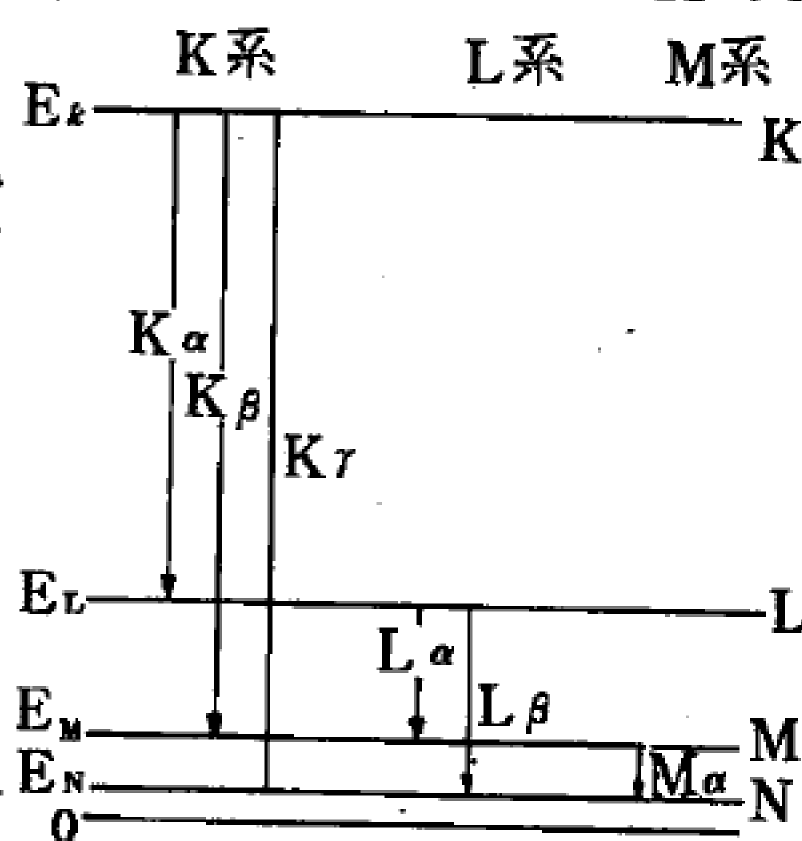


圖1　X射線能階圖

【*M*殼層】（M－shell）

根據波爾的原子理論，繞原子核運行的電子隨主量子數n不同而分成若干層。主量子數爲3的電子，稱爲*M*層電子或*M*電子。原子序數爲11的鈉原子其*M*電子僅有一個；由原子序數爲11的鈉至原子序數爲18的氬，*M*層的電子隨原子序數的增加，由1個增加至8個。而鉀（原子序爲19）、鈣（原子序爲20）、鈧（*Se*原子序爲21）及鈦（原子序爲22）等元素的原子，其*M*層都有8個電子，多出的電子則分配到*N*

層上去。至於原子序數爲 23 的釩（V）則有 10 個電子在M層；原子序爲 24 的鉻（Cr）則有 11個電子在M層。M層可以容納最高的電子數爲 18。

【M層電子】（M - electron ）

主量子數爲 3 的軌道電子。

【M譜線】（ M - line ）

在M - 殼層電子所激發的光譜線。

【N型半導體】（ N type semiconductor ）

絕緣體的電阻係數高達 10^{22}歐姆厘米，而金屬則低至 10^{-6}歐姆厘米，且隨溫度增高而增加。另有一種係數爲 $10^{-2}\sim10^{9}$ 歐姆厘米的晶體狀物質，稱爲半導體，在某溫度範圍內，它的電阻隨溫度增高而減少。按照物質的能帶構造，在絕對零度時，純淨半導體（通常爲第四族元素，如Ge、Si ）和絕緣體的價能帶都塡滿電子，導電能帶沒有電子，因此不導電。若升高溫度，絕緣體能帶間隙大，電子極難得到足夠的能量跳到導電能帶中。而半導體的能帶間隙小，電子容易得到甚大的熱動能而跳到導電能帶中。導電能帶中的電子和價能帶中留下的電洞都能導電。除升高溫度外，加入雜質亦可使其導電。若所加雜質爲如砷等第五族元素，其每一原子極易放出一個電子，此電子在導電能帶中即有導電作用。這種以帶負電荷的電子爲主要導電載體的半導體稱爲N型半導體。

【N殼層】（ N - shell ）

主量子數爲 4 的電子軌道。

【N層電子】（ N - electron ）

主量子數爲 4 的軌道電子。

【O殼層】（ O - shell ）

主量子數爲 5 的電子軌道。

【O層電子】（ O - electron ）

主量子數爲5的軌道電子。

【*P*型半導體】（P type semiconductor ）

半導體中傳導電流的電荷載體有兩種，一種是在導電能帶中攜帶能量的電子，另一種是在價電能帶中的電洞。這些電荷載體數目的多寡深受溫度及所含雜質的影響。隨著雜質成分及溫度的改變，物質的導電性可以有數倍於原量的變化。

在半導體中的雜質有兩類，分別稱爲施素和受素。雜質原子易於放棄一電子者稱爲施素，如磷（*P*）、砷（*As*）等；易於接受一電子者稱爲受素，如硼（*B*）、鋁（*Al*）等。如一半導體中的雜質屬於受素型，則價電層中若干電子被受素吸取而構成電洞，這種以電洞爲主要電荷載體的半導體，稱爲*P*型半導體。

【*P*殼層】（P - shell ）

主量子數爲6的電子軌道。

【*P*層電子】（P - electron ）

角動量子數爲1的電子，亦即主量子數爲6的軌道電子。

【*P* - *N*接頭】（P - N junction ）

目前有許多方法可用以製造同時具有*P*型和*N*型區域的一半導體晶體，如鍺或矽。而其間一層分隔著*P*型和*N*型的交界面，稱之爲*P* - *N*接頭。一般典型的*P* - *N*接頭大約有10^{-4}厘米厚。

當*P* - *N*接頭處於熱平衡時，沒有淨電流流過。這種接頭在電學上有很重要的特性，它可以用作整流及電晶體，因此*P* - *N*接頭的理論可以說是電晶體物理學大量發展的理論基礎。

【*Q*值】（Q - value ）

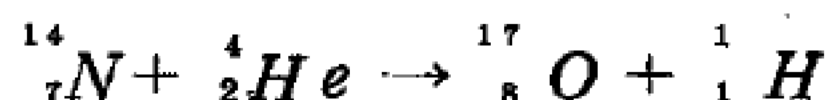
在原子核反應中，參與反應的各原子核質量之和並不等於反應後各原子核質量之和。有些原子核反應，反應後的總質量比反應前的總質量爲小，這表示在反應中有一些質量消失了，消失的質量變成能量，故在

此核反應中有能量放出，這種核反應稱爲放熱核反應（*exothermic reaction*）。有些核反應情形恰好相反，反應後的總質量增大，所增加的質量即由於能量轉變的結果，所以這種核反應必須有相當的能量供應才能產生，我們稱這種需要消耗能量才能產生的核反應爲收熱核反應（*endothermic reaction*）。

在以上核反應中所吸收或放出能量的多少，通常以 Q 值表示之，Q 值即爲反應前後質量的差別。在某核反應 $X(a, b)Y$ 中，定義 Q 值爲

$$Q = (M_x + M_a - M_y - M_b)\,c^2$$

式中 M 表示參與核反應的各質量，c 爲光速。Q 值爲正時表示放熱核反應，Q 值爲負時表示收熱核反應。例如



$$^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$$

則
$$\begin{aligned} Q &= 14.00307 + 4.00260 - 16.99914 - 1.00782 \\ &= -0.00129\,u \\ &= -1.20\,MeV \end{aligned}$$

故此核反應爲一收熱核反應，在此例的核反應中，入射粒子（α 粒子）必須供應能量才能使核反應產生；若入射粒子動能小於某最低數值，則不能使核反應產生。凡使收熱核反應產生，入射粒子必須至少具有能量

$$E_{th} = |Q|\frac{M_x + M_a}{M_x}$$

此能量稱爲底限能（*threshold energy*）。

【Q 殼層】（Q - shell）

主量子數爲 7 的電子軌道。

【Q 層電子】（Q - electron）

主量子數爲 7 的軌道電子。

【S 層電子】（S - electron）

軌道角動量量子數爲 0 的電子。

【*U*中心】(U center)

在晶體中以一輕離子取代原有的重離子，如以H^- 離子取代 KCl 晶體中的Cl^-離子，以這種方式所形成的晶體不純性稱爲*U*中心。此時這輕離子以高頻率的方式在包圍它的重離子所形成的空間從事週期運動。

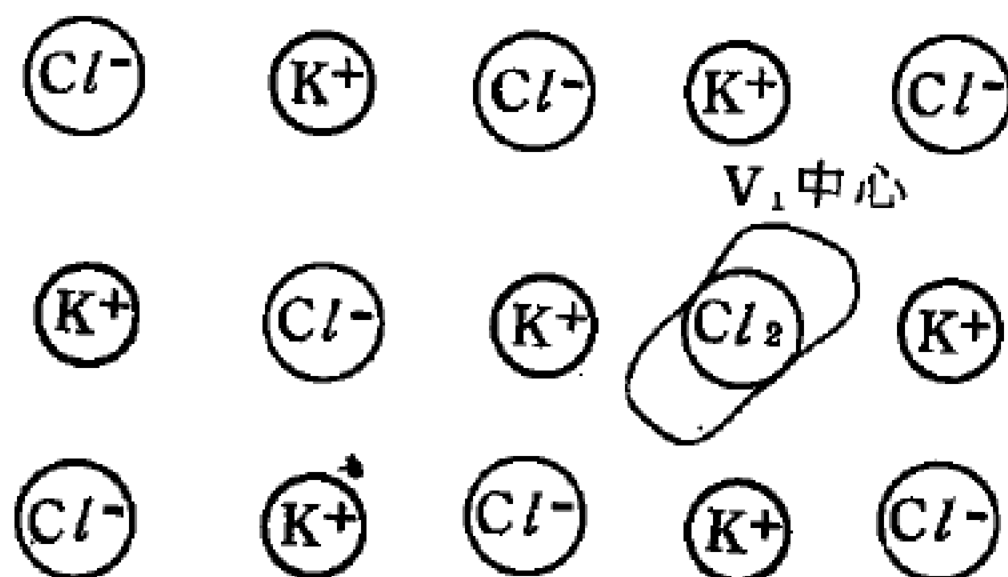


圖 2

【V_1中心】(V_1 center)

V_1 中心爲色中心 (*color center*)的一種，所謂色中心是一種能吸收可見光的晶格缺陷。V_1中心是由晶體中的一離子爲相同分子所取代而形成。如圖2，在氯化鉀 (KCl) 中一氯離子 (Cl) 被氯分子 (Cl_2) 所置換，這種晶格缺陷即爲V_1中心。

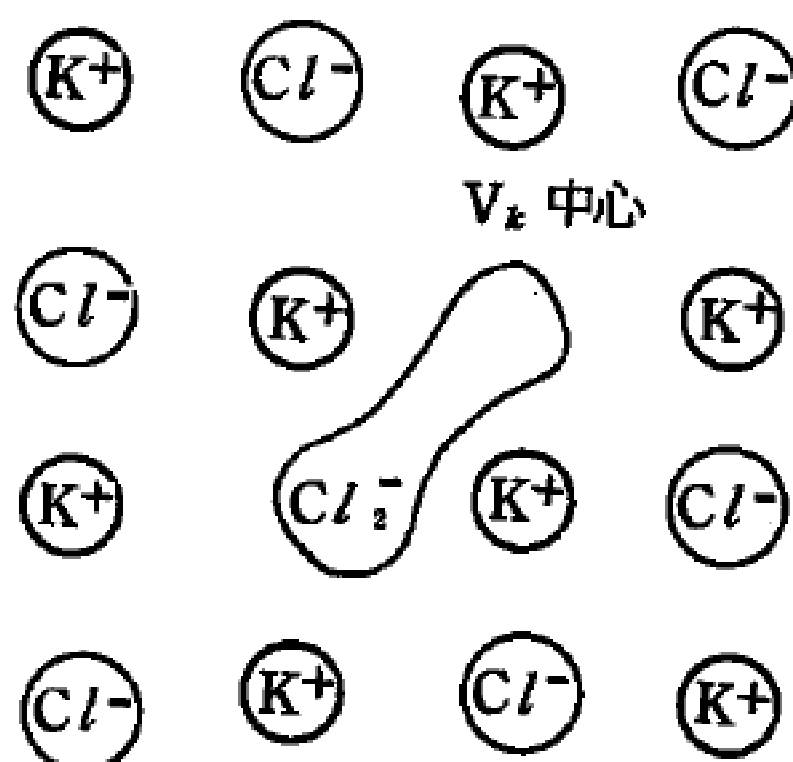


圖 3

【V_k中心】(V_K center)

晶體中一原子或缺陷，其可能捕捉一電洞者稱爲陷阱 (電洞中心)，其中最爲人所熟知的即是V_k中心。簡言之，兩個負離子捉到一個電洞就構成V_k中心，並不需要晶格空缺或外加原子。例如在鹼鹵化物中的鹵素離子捕捉一個電洞時即成爲 V_k 中心。由實驗發現 V_k 中心的結構與鹵素分子的負離子類似，例如氯化鉀中的氯離子 (如圖3中之Cl_2)。

【*X*單位制】(X system of unit)

爲描述*X*射線或γ射線波長的單位制。

【*X*射線】(X - ray)

侖琴 (*Röentgen*) 在 1895 年從事眞空放電實驗時，發現被陰極射線碰撞之處有一種射線射出，此種射線具有照相作用、螢光作用，並

能穿過物質，亦可使氣體發生游離，但並不因電場而生偏轉，侖琴稱此射線爲*X*射線。

此種射線是一種電磁波，而發自被電子碰撞的物質。從實驗結果得知*X*射線具有直進、反射、折射、干涉、繞射及偏振等現象。*X*射線之直進現象在發現*X*射線時即被侖琴指出，*X*射線之偏振現象則於1905年被巴克納（*Barkla*）發現。在1912年勞厄（*Laue*）以結晶作*X*射線的光柵（*grating*），確證其干涉及繞射現象。康卜頓（*Compton*）又於1922年明示其反射性質之存在。時至今日，大家已公認*X*射線與可見光同爲電磁波，但*X*射線之波長則較可見光者甚短，此爲二者唯一之差異。

*X*射線對有生命的細胞組織，有刺激和破壞作用，長時間曝露於*X*射線照射下，可使皮膚灼傷或器官損傷，其最易顯示的生物效應爲產生紅斑（*erythema*），此即使皮膚變紅。*X*射線的另一生物效應爲增加偶然變異（*mutation*）之速率。

關於*X*射線之研究，可分爲*X*射線光譜分析及*X*射線結晶分析。利用前者吾人可探討原子的構造，而利用後者可研究結晶的構造。除此之外，在醫學上及工業上，常利用*X*射線的穿過性，從事透視工作，由於強力*X*射線裝置之發達，它在醫學及工業上益形重要。

【*X*射線之吸收】（**Absorption of X-ray**）

*X*射線通過物質時，透過之*X*射線，其強度常比入射者爲弱，此種衰減現象稱爲*X*射線之吸收。

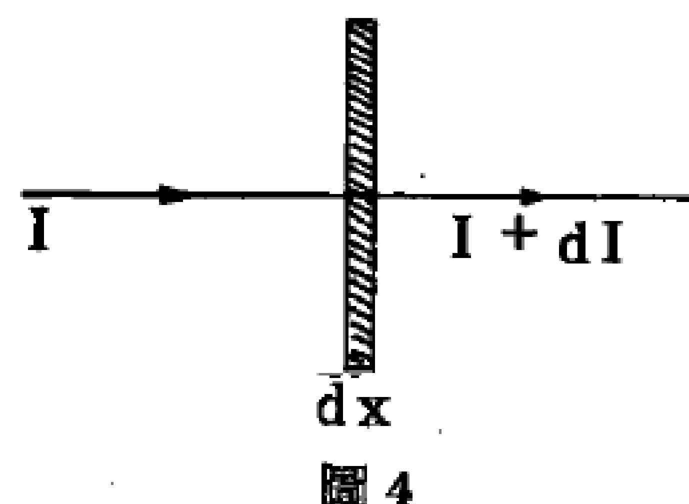


圖 4

*X*射線通過透明的鉛玻璃時，幾乎完全被鉛所吸收。但當*X*射線通過鋁片時，其強度幾乎毫無衰減。所以常用鉛板防禦*X*射線，而以鋁片作電離槽及新型*X*射線管的射窗。由此可知，*X*射線吸收之機構是異於可見光的。

X 射線穿過 dx 厚物質時，因吸收，其強度減小值 dI 顯然與 dx 成正比；如 dx 為一定，其又與入射前之強度 I 成正比，故 dI 可寫作：

$$-dI = \mu I dx$$

比例常數 μ 稱為吸收係數（*absorption coefficient*），將上式改為

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx$$

由積分可得　　$I = I_0 e^{-\mu x}$

此 I_0 與 I 分別為通過物質之前後強度，x 為物質之厚度。由於 μx 無因次，故 μ 之因次當為厘米$^{-1}$。

X 射線被物質吸收之原因，其一是因光電效應，而有螢光 *X* 射線（*fluorescent X-ray*）之發射。其二是因散射現象，而有散射 *X* 射線（*scattering X-ray*）之發射（如圖5）。因此，吸收係數可寫作：

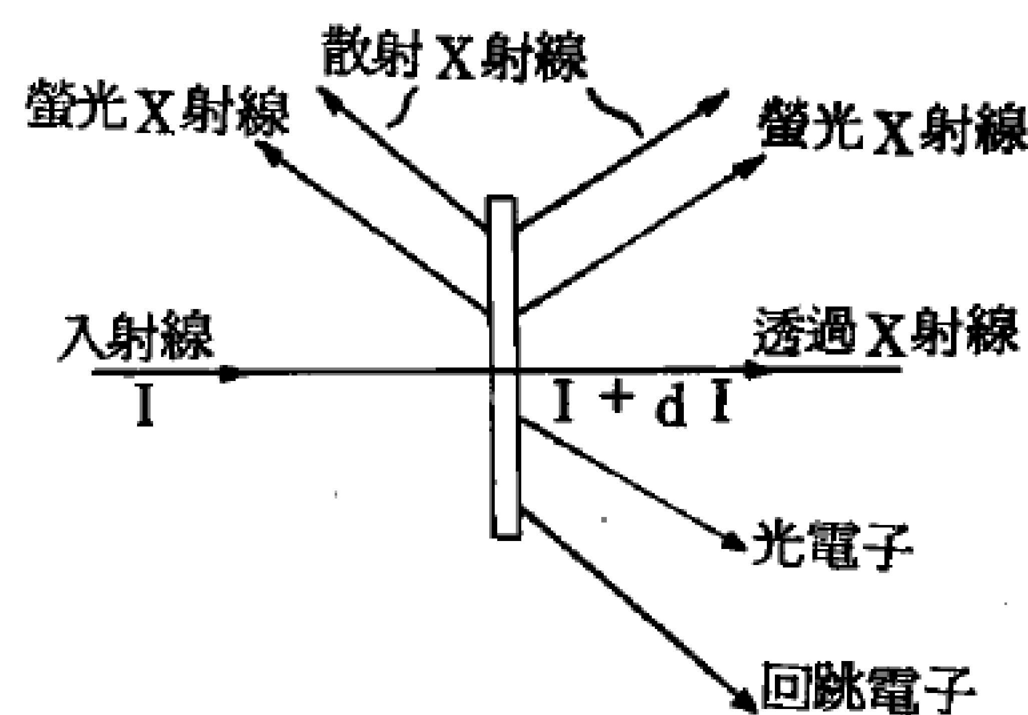


圖 5

$$\mu = \sigma + \tau$$

σ 稱為散射係數（*scattering coefficient*），τ 稱為螢光變化係數（*flourescent transformation coefficient*）。茲將吸收係數 μ 除以物質之密度 ρ，即

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\sigma}{\rho} + \frac{\tau}{\rho}$$

通稱之為質量吸收係數（*mass absorption coefficient*），若採用此種吸收係數，則

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho} \rho x}$$

ρx 為截面 1 厘米^2，厚 x 方柱中的質量，$\frac{\mu}{\rho}$ 的因次為克$^{-1}$ 厘米^2。如

$\rho x = 1$，則 $I = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}}$。於是 $\frac{\mu}{\rho}$ 乃一就單位截面含有 1 克質量之物質層，示 X 射線減衰特性之量。茲給 $\frac{\mu}{\rho}$ 乘以 1 克原子 M 與亞弗加厥數 N_0 之比，即

$$\mu_\alpha = \frac{\mu}{\rho} \quad \frac{M}{N_0}$$

此稱爲原子吸收係數（*atomic absorption coefficient*）。在理論的計算上，或在原子物理中，用原子吸收係數 μ_α 比用質量吸收係數更爲適宜。若採用此種吸收係數則

$$I = I_0 e^{-\mu_\alpha \frac{N_0}{M} \rho x}$$

如 $\frac{N_0}{M} \rho x = 1$，則 $I = I_0 e^{-\mu_\alpha}$。於是 μ_α 乃一就單位截面含有一原子之物質層，表示 X 射線減衰特性之量。原子吸收係數之因次爲厘米 ^{2}，因此又稱 μ_α 爲吸收截面（*absorption cross section*）。

【X 射線之散射】（Scattering of X-ray）

當 X 射線投至物質上時，該物質即向四方放射 X 射線，此種現象稱爲 X 射線之散射，此種 X 射線另稱爲散射 X 射線。散射 X 射線的理論首爲湯木生（*Thomson*）依據馬克士威（*Maxwell*）電磁理論及羅倫茲（*Lorentz*）電子論提出，其理論謂：當 X 射線投於物質上時，因 X 射線爲電磁波，它即在物質內部建立一週期的電磁場，於是物質內的電子受週期外力的作用而行強迫振動，依電磁輻射原理，物質即放射 X 射線。

根據理論，物質僅能放射與入射線波長相同的 X 射線，可是實驗上卻發現有與入射線波長相同及不相同的二種散射 X 射線。波長異於入射線的散射另稱爲康卜頓（*Compton*）散射。無論在定性或定量上，依據湯木生（*Thomson*）理論，是無法予後者以解釋的，此等困難俟量子論產生始被消除。

【X 射線之散射的量子理論】（Quantum theory of X-ray

scattering)

卽以光的微粒理論爲基礎，討論X射線散射的問題。當X射線微粒與電子相撞時，X射線將從不同於原入射方向的另一方向散射出去。運動方向的改變，一定會引起動量的變化。如在碰撞過程中總動量不滅，則被撞擊的電子必自入射質點獲得反坐動量，後者剛好等於X射線碰撞前後動量的差。由於碰撞前後能量也應不滅，所以散射X射線的能量 $h\nu$ ，必較入射X射線的能量$h\nu$小些，而二者之差應等於反跳電子帶走的能量。由此可知，散射X射線的頻率必較入射X射線小；卽它的波長比入射X射線要長。這種散射過程，只不過是X射線微粒跟電子之間的彈性碰撞罷了！

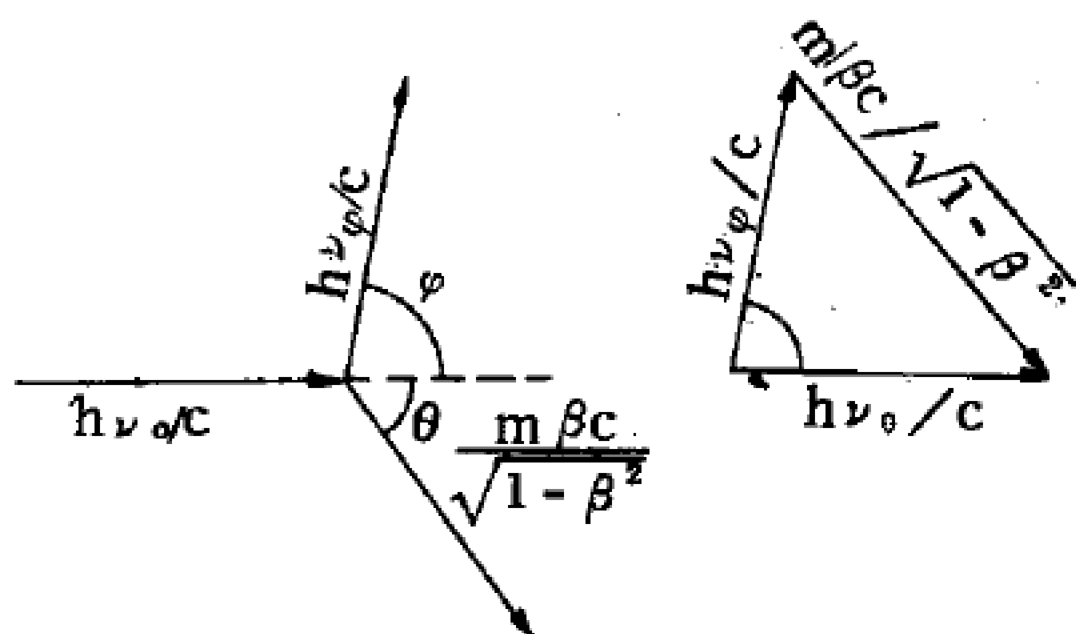


圖 6　X射線微粒和電子間的碰撞

現在我們進一步“定量地”處理這一散射問題。假定有一頻率爲 ν_0 的X射線，和一質量爲m且原係處於靜止狀態的電子相撞，並被後者所散射（如圖 6 所示）。設X射線是沿一與入射方向成φ角的方向被散射。令 ν_φ 表此散射X射線之頻率，$\dfrac{h\nu_0}{c}$及$\dfrac{h\nu_\varphi}{c}$分別表入射X射線及散射X射線的動量。反跳電子的動量當爲此二動量的向量差。如以β表反跳電子速度與光速之比，並將特殊相對論的影響一併考慮在內，則電子的動量應爲 $\dfrac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}}$ 。上述三種動量之間的向量關係可以下式表之：

$$\left(\frac{m\beta c}{\sqrt{1-\beta^2}}\right)^2=\left(\frac{h\nu_0}{c}\right)^2+\left(\frac{h\nu_\varphi}{c}\right)^2-2\frac{h\nu_0}{c}\,\frac{h\nu_\varphi}{c}\cos\varphi \qquad (1)$$

由碰撞前後的能量不滅可以斷定，散射X射線的能量$h\nu_\varphi$等於入射X射線的能量 $h\nu_0$ 減去由相對論導出的反跳電子的動能：

$$mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}-1\right)$$

亦即

$$h\nu_\varphi = h\nu_0 - mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}-1\right) \qquad (2)$$

解（1）式與（2）式之聯立方程式，即得

$$\nu_\varphi = \frac{\nu_0}{1+\frac{2h\nu_0}{mc^2}\sin^2\frac{1}{2}\varphi} \qquad (3)$$

（3）式告訴我們，ν_φ永不能大於ν_0，也就是說，散射X射線的頻率，不可能大於入射X射線的頻率。

若以波長表示，（3）式可以簡化爲

$$\lambda_\varphi = \lambda_0 + \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{1}{2}\varphi \qquad (4)$$

式中λ_0及λ_φ分別代表入射X射線及沿φ角方向散射的X射線的波長。

反跳電子的能量也可由（2）及（3）二式求得：

$$E_{kin} = h(\nu_0 - \nu_\varphi) = h\nu_0\frac{\frac{2h\nu_0}{mc^2}\sin^2\frac{1}{2}\varphi}{1+\frac{2h\nu_0}{mc^2}\sin^2\frac{1}{2}\varphi}$$

反跳電子運動方向與入射X射線所成的角θ，可由下式求出：

$$\cot\theta = -\left(1+\frac{h\nu_0}{mc^2}\right)\tan\frac{1}{2}\varphi$$

由（4）式可得散射前後的波長之差$\Delta\lambda$：

$$\Delta\lambda = \lambda_\varphi - \lambda_0 = \frac{2h}{mc}\sin^2\frac{1}{2}\varphi \qquad (5)$$

$\Delta\lambda$僅與散射φ角有關，而與入射X射線的波長無關。因此沿一定角度散射的X射線能譜，與入射線能譜間在整個能譜上的差距必爲一均

勻的定值。又（5）式中的 $\frac{h}{mc}$ 稱為康卜頓波長，其值為

$$\frac{h}{mc} = 2.42 \times 10^{-10} \text{厘米} = 0.0242 \text{ Å}$$

X 射線自石墨散射的實驗，與計算之結果比較一下。實驗所用的X射線，是從鉬靶X射線管發射的，由實驗所得的X射線能譜，比較入射X射線的強度及與入射線成 90° 角的散射X射線強度，顯示整個散射X射線的能譜向長波方向作了一定量的位移。由同一實驗測得的位移為

$$\Delta \lambda_{\text{實驗}} = 0.022 \text{ Å}$$

此值與（5）式的理論計算結果

$$\Delta \lambda_{\text{理論}} = 0.024 \text{ Å}$$

極為符合。

【X 射線之繞射】（X - ray diffraction）

使X射線經過與其波長同級量之狹細間隔之光柵（*grating*）時，即可發生X射線繞射。1912 年勞厄（*von Laue*）曾預言，晶體可充X射線之立體繞射光柵。X射線為波長約 0.5～2.5 Å之電磁波。

在X射線繞射時，各反射栓所經過的距離若恰為波長之整數倍時，則波長與入射角之關係可寫成

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

式中 θ 為入射角，d 為面與面之間的距離，n 為正整數，λ 為波長。

作X射線繞射的方法有三種：

1. 勞厄法——單晶體固定於一連續波長X射線輻射柱中。此晶體選出並繞射不連續值之 λ，使結合平面間隔 d 與入射角 θ 適合布勒格定律者。

勞厄照相機圖解於圖 7 中。有一光源產生一寬闊波長範圍之X射線柱，如自 0.2 至 2 Å；一針孔設備產生一準直射線柱。單晶體之試樣尺寸大小不需比 1 毫米為大。用一塊平照相軟片以接受穿透之繞射線或反

射之繞射線。繞射花樣爲一系列之斑點。

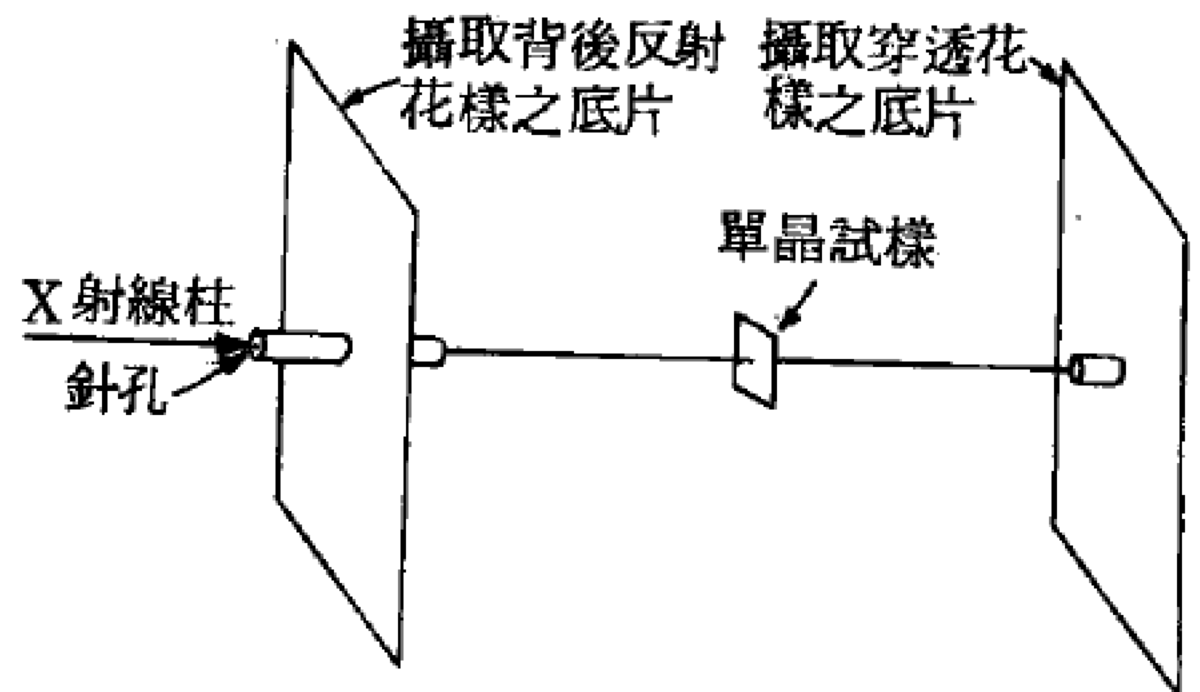


圖 7

攝取勞厄花樣之照相機佈置圖

勞厄法用於決定晶體構造亦有缺點。因爲波長之範圍廣闊，可使不同波長以不同級次自一平面反射，不同級次之反射可以重疊於同一斑點。此一特徵使決定反射強度困難。

參閱“勞厄繞射圖樣（*Laue diffraction pattern*）”條。

2.轉晶法——單晶體在一單色*X*射線柱中對一固定軸轉動。如此變更θ使不同原子平面轉至達成反射之位置。

圖8示一簡單之轉晶照相機。單晶體試樣固定於一轉針上，照相底片裝於一圓柱體內壁上，此圓柱體與轉針共軸。晶體之尺寸大小常小於1毫米。入射之單色射線柱對於晶體間隔d於晶體轉至角θ適合布勒格方程式時自該晶體面反射。特如各平面平行於轉軸者將反射於水平面上。其他方位之平面則反射於水平面上方與下方，一層一層地。

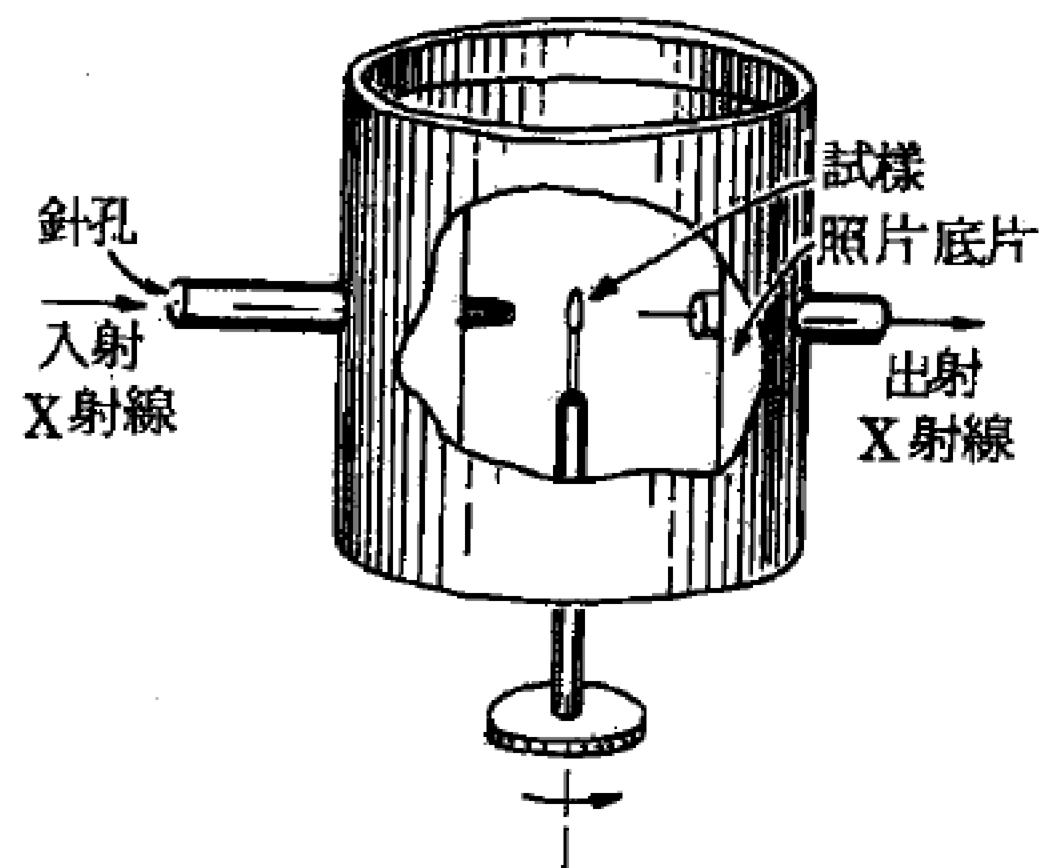


圖 8　一轉晶照相機

通常所用轉晶法有幾種不同型式。在振盪晶體（*oscillating crystal*）相片中，晶體係振盪一有限角度，而不是轉360°。振盪有限角度，可以減少疊搭反射。魏柏格測角計（*Weissenberg goniometer*）則移動照相片使之與晶體之振盪同步。此一步驟乃消除疊搭反射，並且爲分析計亦稱便利。此移動照相片法，在今日廣用於決定晶體之結構。

3. 粉末法——粉末之晶體試樣置於一單色柱中之一固定位置。在晶體粉末之凌亂方位中，當有一些方位使入射角能適合布勒格定律。

在圖 9 中之粉末法中，入射單色輻射射擊一細粉試樣或裝於一薄壁管中之細粉複晶試樣。個別之微晶於其平面方位與入射柱所成之角 θ 滿足布勒格方程式時，則有繞射輻射自此個別微晶射出。圖 10 爲粉末花樣照相片之一例。繞射線順沿與原射柱同軸之錐體之母線離開試樣。母線與原射柱之方向成 2θ 角，θ 爲布勒格角。諸錐體截照相片成一串同心圓圈。

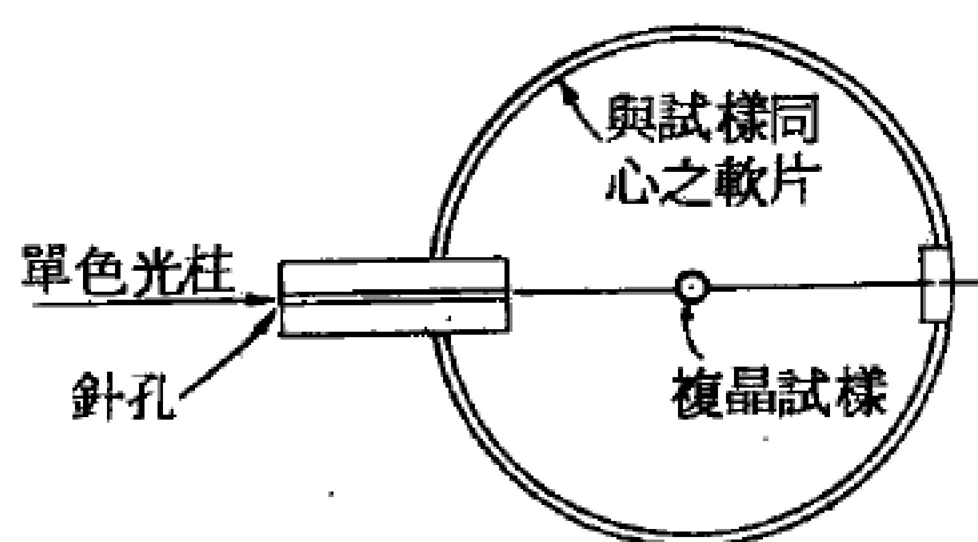
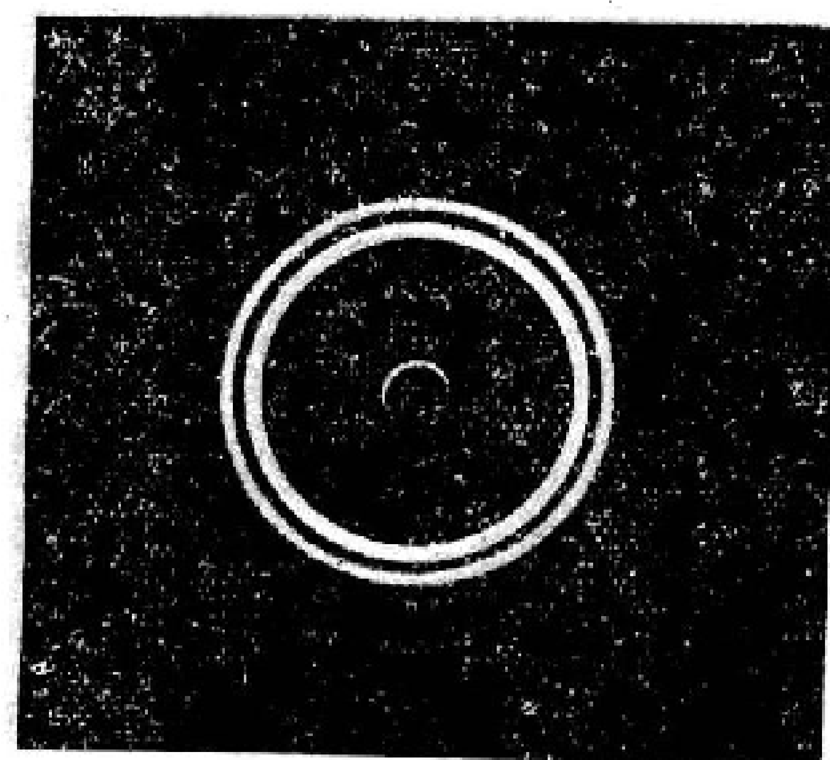


圖 9　粉末照相機之裝置

粉末法之重要用途，在研究合金系統之相域圖（*phase diagram*）。有特殊之照相機可容試件升至高溫，如爲 1,000 °C 或尤過之。


圖 10
鋁之粉末花樣

在近代研究工作中，上述三法均有採用，同時稍加改良。勞厄法對於迅速決定晶體方位與對稱性，以及研究晶體在受機械與熱處理情況下所發生疵弊之程度，甚爲方便。轉晶法於有單晶體試樣可用時，爲決定晶體構造之一主要方法。粉末法在實際應用及冶金工作中甚爲方便，因其不需單晶體。

【*X* 射線分光計】（X - ray spectrometer）

普通 *X* 光之記錄方法都是利用底片感光之原理，依其 *X* 光來源、底片位置與樣品位置而做不同形態之記錄。只須將底片好好沖洗，將繞射點或線之位置好好量測，因此記錄方法尚稱簡便。但繞射圖案之記錄，如不必經底片之沖洗，而能直接讀出有關數值的，自是更加簡便。*X* 射

線分光計就爲此被製造出來的。它可依使用法，而分爲繞射儀（*diffractomer*）及分光計（*spectrometer*）。分光計是利用一已知之晶體結構來量測樣品之成分及百分重量。通常我們引用一束適當能量之X光射於樣品上，樣品上之不同元素就起反應，而各射出它們的特性X光（*characteristic X-ray*）。這特性X光經過已知晶體後，就被輻射探測器所檢收而自動地記錄。我們檢查它所得的記錄結果，就可分析樣品之成分及其分量。繞射儀之裝置恰好跟分光計相反，即利用已知X光之波長而去量測樣品之晶體結構。是用一種X光靈敏探測器取代底片，而直接吸收從樣品反射出之繞射光。這些繞射光經各種電子儀器之吸收與放大，最後可變成機械功，而在記錄紙上依其強度及位置劃上不同之曲線。

【X射線治療】（Roentgen therapy）

利用X射線做輻射治療。

【X射線強度之測定】（Measurement of the intensity of X-ray）

X射線之強度可利用X射線之照相作用加以測定。即用黑紙將照相底片包起，而後將欲測的X射線投上，經現像處理再以顯微光度計（*microphotometer*）分析感光強度，便可判定X射線的強度。然因此種方法既麻煩又不經濟，故常利用其游離作用設計如圖11所示的裝置來測定X射線的強度。圖 11中之C爲電離室（*ionization chamber*），爲圓筒形，內裝有一金屬棒R，R之右端係通過絕緣物而露於外方，其前方裝一用很薄的鋁片作成的射窗W，以便X射線射入電離室，內部盛有原子序數較大的氣體，

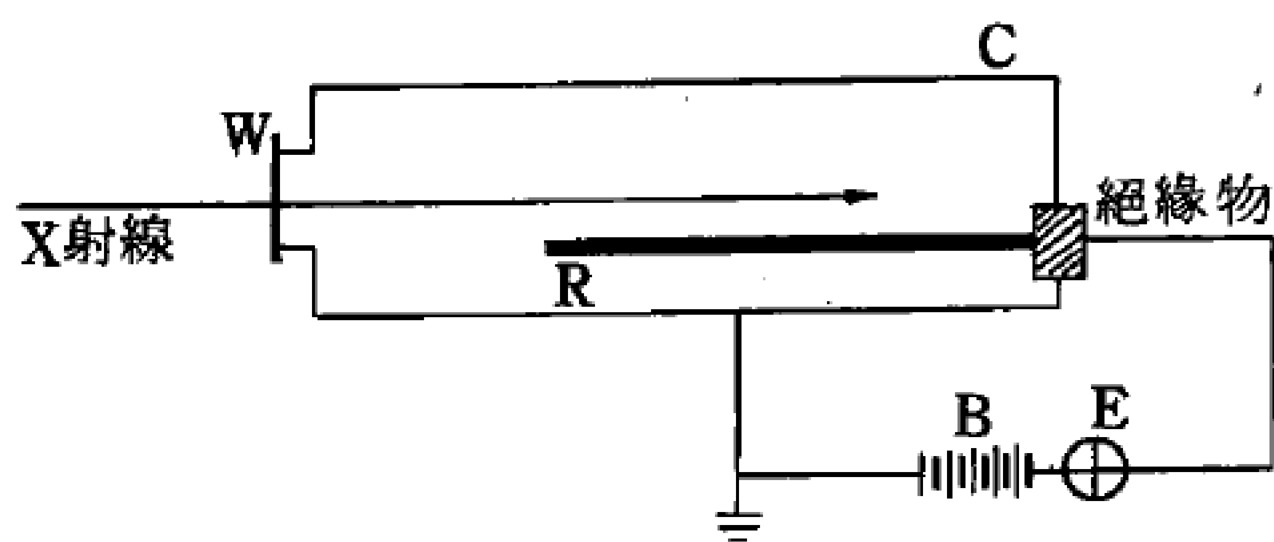


圖11

氣壓約爲一大氣壓，但爲簡便計常以空氣代之。又圖中之E爲靜電計（*electrometer*），用以量離子電流，B爲電池用以給R與C之間保持一電位差。

待電離室、靜電計、電池、照圖連妥後，若使X射線經W射入，由於X射線的游離作用即使室內的氣體游離而產生離子電流，此電流可用靜電計量度之，從其大小卽可判定欲測X射線的強度。

關於X射線強度之測定，在今日亦採用蓋革計數器（*Geiger counter*），或其他型式之計數器來量度。

【X射線管】（X - ray tube）

早期之X射線管實爲一特種低壓放電管。如圖12，其管中的空氣，抽到極稀薄。管中有一個鋁製的凹面圓板，這就是陰極。另外還有兩個圓板，用鉉接著，是兩個陽極。當高壓的電流通入管中時，使得管中稀薄的空氣熾熱發光，而陰極上就射出一束電子，打擊到鎢板（陽極之一，叫做對陰極（*anti-cathode*））的中心。

電子旣集中於鎢板，則鎢板上就會射出X射線。可是用X射線者在各種不同的情形下，必須要透力大小不等的X射線。所以管上又有特別的構造：管上部的小玻璃管中，有一個雲母捲軸，上面連著電線。當電線和陰、陽二極接起時，則線卽發熱，而雲母捲軸上放出氣體。氣體跑進X射線管，卽減少眞空的勢力，這樣就可使鎢板上射出透力較小的X射線。

現今採用者爲1913年柯立芝（*W.D.Coolidge*）發明之柯立芝X射線管（*Coolidge X-ray tube*）如圖13所示，其陰極爲紅熱之鎢絲，電子由熾熱之陰極所發射，然後經高電壓加速至靶，此種構造有一甚大之優點，卽加速電子之電壓變更，與撞擊靶之電流無關，擊靶之電流僅爲陰極溫度之函數。目前X射線管所運用之電壓高達百萬伏特，或尤過之。

雲母捲軸
陽極上的鎢板
陽極
銅棍
電子打擊鎢板
陰極
陽極
鉛棍
塗硫化鋅的紙板罩一張鉛玻璃
X射線
手的相片顯出骨節

圖 12　X射線管

【*X*射線譜】（X-ray spectrum）

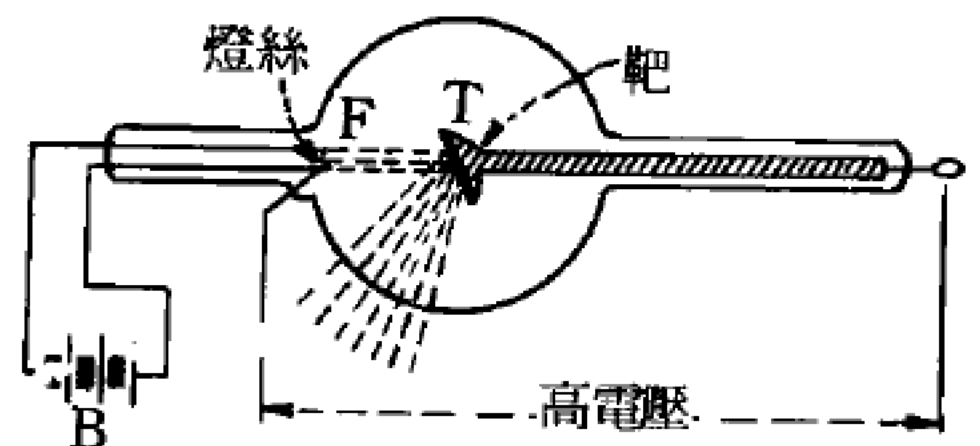


圖 13　柯立芝X射線管

高速電子打在物體上所發出的*X*射線並非單頻的，我們可以發現整個*X*射線譜，其中至少包括數個很窄的尖峯，和一片廣闊的連續分佈。尖峯的位置（卽其波長）視靶的質料而

不同。圖 14 爲一個典型的分佈圖。在其連續分佈的部分，左方有一個截止波長 λ_0，λ_0 的數值視入射電子的能量而定。

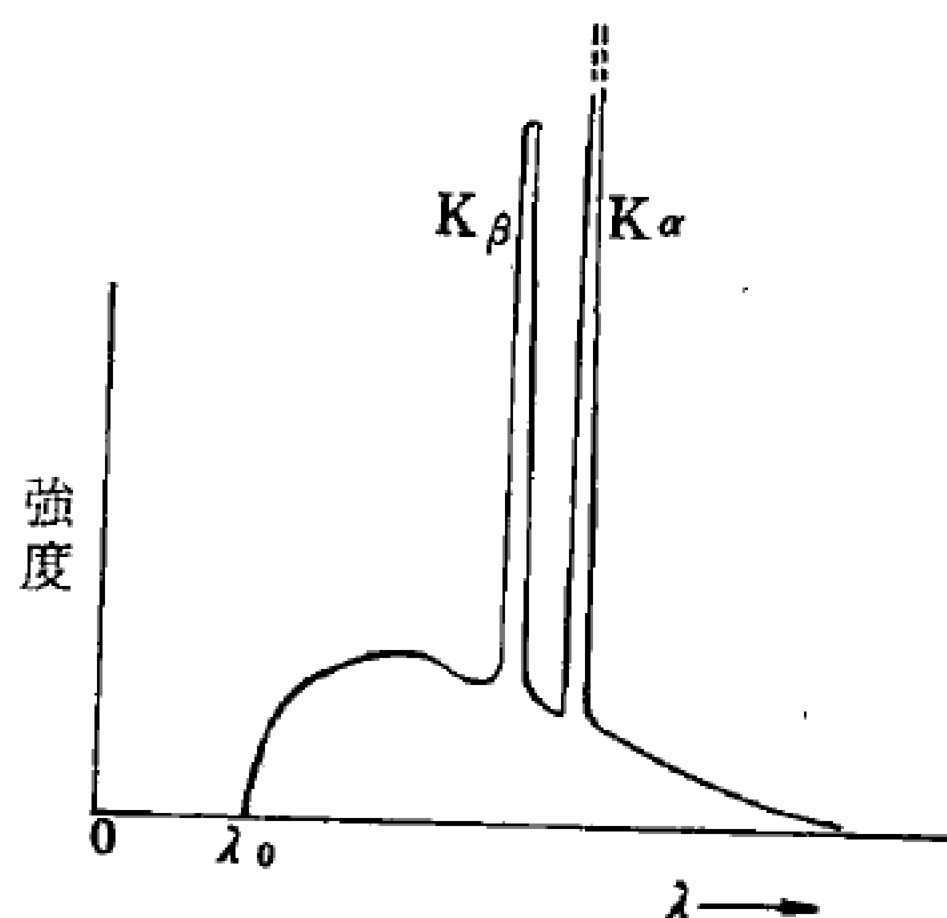


圖 14
典型的X射線光譜圖

設入射的電子是被電壓 V 所加速的，也就是說，其動能爲 eV。假定這個電子在物質內完全停下來（動量當然爲物質所吸收），而其能量完全變成一個光子，則這個光子頻率就是

$$\nu_0 = \frac{eV}{h}$$

而其波長爲

$$\lambda_0 = \frac{hc}{eV} = \frac{1.24 \times 10^{-5}}{V} \ cm \quad (V\text{的單位爲伏特})$$

這個關係的確是得到實驗的證實的。由此可得知入射電子的總動能，是能夠差不多完全變成一個光子的，在這裏沒有一個類似光電效應中功函數的項。

【*X* 射線攝譜儀】（X - ray spectrograph）

詳閱“布勒格分光計（*Bragg spectrometer*）”條。

【*X* 截晶體】（X cut crystal）

在 *X* 軸中所截割之薄片。

【Ω 耦合】（Ω - coupling）

當自旋、軌道效應相當大時，分子中角動量的耦合與原子中的 *jj* 耦合相似。電子的軌道及自旋角動量首先耦合在一起，以量子數 Ω 表之。Ω 值爲整數或半整數，視分子中的電子數爲偶數或奇數而定。Ω 再與表示振動態的量子數 v 及 J 耦合。在這種耦合的方式下，當 $S = 0$ 時，轉動能階即與 J 值相對應。

【Λ型倍增】(Λ - type doubling)

雙原子分子或線性多原子分子等，由於分子轉動與電子的總角動量 L 間有交互作用，致使轉動能階劈裂成兩成分能階；這種劈裂成分能階，通常以總角動量 L 在分子軸上的分角動量Λ討論之，Λ的大小以 $\Lambda\hbar$ 表之；Λ的可能值爲Λ＝0，1，2，…，又分別以希臘大寫字母Σ，π，Δ，Φ，…表之。分子量子數Λ與原子理論中的 M_L 相類。劈裂爲兩成分的現象，稱爲倍增(*doubling*)。除了分子能階在Σ態時（Λ＝0）外，在其他各態（Λ≠0）均有產生的可能，而 J 、Λ的多重性與耦合條件有關。